Résultats de cinq ans de la mesure des effets réels du traitement d'éclaircie précommerciale de peuplements à dominance résineuse

Mémoire de recherche forestière n° 152
Direction de la recherche forestière

par

Vincent Laflèche et Stéphane Tremblay

Québec

Résultats de cinq ans de la mesure des effets réels du traitement d'éclaircie précommerciale de peuplements à dominance résineuse

Mémoire de recherche forestière n° 152

par

Vincent LAFLÈCHE, ing.f., M. Sc. et Stéphane TREMBLAY, ing.f., M.Sc.

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2008

Mandat de la DRF

Le mandat de la Direction de la recherche forestière (DRF) au sein du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) est de participer activement à l'amélioration de la pratique forestière au Québec. La concrétisation de ce mandat passe par la réalisation de travaux, principalement à long terme et d'envergure provinciale, lesquels intègrent à la fois des préoccupations de recherche fondamentale et de recherche appliquée.

Elle subventionne aussi des recherches universitaires à court ou à moyen terme. Ces recherches, importantes pour le Ministère, sont complémentaires aux travaux de la DRF ou réalisées dans des créneaux où elle ne peut s'impliquer.

Elle contribue à la diffusion de nouvelles connaissances, d'avis et de conseils scientifiques.

Les mémoires de recherche forestière de la DRF

Depuis 1970, chacun des Mémoires de recherche forestière de la DRF est révisé par un comité ad hoc formé d'au moins trois experts indépendants. Cette publication est produite et diffusée à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation d'un projet ou d'une expérience. Ce document à tirage limité est également disponible dans notre site Internet en format pdf.

Vous pouvez adresser vos demandes à :

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein, Québec (Québec)
Canada, G1P 3W8
Courriel : recherche.forestiere@mrnf.gouv.qc.ca
Internet : www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche

© Gouvernement du Québec
On peut citer ce texte en indiquant la référence.

ISBN : 978-2-550-53354-2
ISBN (PDF) : 978-2-550-53355-9
F.D.C. 241 (047.3) (714)
L.C. SD 396.5

Notes biographiques

Vincent Laflèche est ingénieur forestier diplômé de l'Université Laval depuis 1997. En 2000, le même établissement lui décerne un diplôme de maîtrise ès sciences. Par la suite, il devient professionnel de recherche en sylviculture au Département des sciences du bois et de la forêt de l'Université Laval. Les travaux auxquels il a collaboré ont porté notamment sur la compréhension des effets des interventions forestières sur la régénération, la croissance et les risques de chablis dans la forêt boréale. En 2004-2005, il agit à titre d'attaché de recherche en sylviculture pour la Chaire industrielle de recherche CRSNG-Université Laval en sylviculture et faune.

Depuis 2005, il est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière à titre de chercheur. Il collabore aux travaux sur la production des forêts résineuses avec Stéphane Tremblay.

Stéphane Tremblay est ingénieur forestier diplômé de l'Université Laval depuis 1993. En 1996, le même établissement lui décerne un diplôme de maîtrise ès sciences. Par la suite, il collabore à de nombreux projets portant notamment sur l'aménagement intégré et la certification environnementale, de même que sur la sylviculture et la production des forêts. Parmi les projets auxquels il a participé, le principal visait l'élaboration de guides de gestion de la densité des sapinières, des pessières noires et des pinèdes grises. Il a aussi été chargé de cours au Département des sciences du bois et de la forêt de l'Université Laval de même que professeur au Cégep de Sainte-Foy.

Depuis 2000, il est chercheur à la Direction de la recherche forestière. Ses travaux portent sur les effets des principaux traitements sylvicoles sur les caractéristiques des forêts résineuses. Il est titulaire de projets faisant partie de la mesure des effets réels des coupes avec protection de la régénération et des petites tiges marchandes ainsi que des éclaircies précommerciales et commerciales. Il est aussi responsable de projets de recherche de ces mêmes traitements et il collabore à un projet destiné à définir les règles d'application de la coupe progressive irrégulière du volet des peuplements résineux. Il est également titulaire d'un projet de recherche sur l'aménagement acérico-forestier des érablières. Outre les activités de recherche, il participe à divers comités scientifiques et techniques et il fournit des conseils en foresterie en lien avec les sujets abordés dans le cadre des projets qu'il mène.

Remerciements

La réalisation de cet ouvrage a été rendue possible grâce à l'implication de M. David Pothier qui a été titulaire du projet lors de l'implantation et du premier mesurage du réseau. Les remerciements s'adressent également à MM. Michel Beaulieu, Louis Faucher et Alain Langlois ainsi qu'aux équipes des bureaux régionaux et des unités de gestion du ministère des Ressources naturelles et de la Faune pour la prise de données sur le terrain et le support technique.

Les auteurs tiennent à remercier sincèrement Mmes Josianne Deblois et Lise Charette pour leur précieuse contribution aux analyses statistiques ainsi que MM. Robert Jobidon et Sébastien Meunier pour leurs judicieux commentaires apportés dans la version préliminaire. Des remerciements s'adressent également à deux réviseurs anonymes et à l'éditeur associé, M. Marcel Prévost, pour la révision finale de ce document, ainsi qu'à Mme Sylvie Bourassa et M. Pierre Bélanger pour sa mise en page et son édition.

Résumé

À partir du milieu des années 1990, un vaste réseau de placettes-échantillons a été installé dans les peuplements résineux et mixtes du territoire forestier québécois afin de quantifier les effets réels de l'éclaircie précommerciale. La croissance des tiges et le rendement à l'hectare ont été analysés sur une période de cinq ans suivant le traitement dans des peuplements résineux et mixtes de résineux et de feuillus intolérants à l'ombre. L'accroissement en diamètre de tous les peuplements s'est accru significativement à la suite de l'éclaircie. L'ampleur de la réaction des tiges a généralement été proportionnelle à la fertilité de la station et au nombre de tiges avant traitement. Les sapinières ont le plus réagi au traitement, leur accroissement en diamètre était près de 80 % de plus à la suite de l'éclaircie. En général, la croissance en hauteur a été stimulée par l'éclaircie, mais de façon moins importante que celle en diamètre. L'accroissement en volume total a été nettement supérieur dans tous les peuplements non traités, ce qui s'est traduit, cinq ans après traitement, par un volume de 1,5 à 2 fois plus élevé par rapport aux peuplements éclaircis. L'importante baisse de la densité après traitement explique grandement le plus faible accroissement en volume. Toutefois, l'étude des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare du peuplement démontre que l'accroissement en volume total par tige a été supérieur dans tous les peuplements traités. Les sapinières traitées ont connu les plus forts gains avec une hausse moyenne de 53 % de l'accroissement en volume par tige. L'éclaircie a donc provoqué un effet bénéfique et rapide sur les tiges qui occupent une meilleure position sociale, et qui formeront, en majeure partie, le peuplement à maturité. Le mesurage à long terme des placettes sera nécessaire afin d'évaluer les effets de l'éclaircie sur les caractéristiques et la production marchande des peuplements.

Abstract

Since the mid-1990s in Québec, a large network of sample plots was established in softwood and mixedwood forest stands in order to quantify the actual effects of precommercial thinning. Yield per hectare and individual tree growth were analysed over a five-year period after treatment in these stands. Tree diameter growth increased significantly in all stands following thinning. The magnitude of the reaction was generally proportional to site fertility and to the number of stems per hectare before treatment. Balsam fir stands showed the best reaction, with diameter growth almost 80% greater following thinning. In general, height growth was stimulated by thinning, but less than was diameter growth. Five years after treatment, growth in total volume was clearly superior in all unthinned stands, which resulted in a volume 1.5 to 2 times greater than in thinned stands. The great reduction in stand density following treatment explains the lower volume registered. However, the total volume per stem of the 1000 biggest trees per hectare was higher in all treated stands. The largest gains were seen in thinned balsam fir stands, with a mean increase in volume per stem of 53%. Therefore, thinning resulted in a beneficial and rapid effect on stems which initially occupied a better social position in the stand — stems which will make up most of the trees in the mature stand. Long-term remeasuring of the sample plots will be necessary in order to evaluate the effects of thinning on merchantable volume production and other stand characteristics.

Table des matières

page

Remerciements iii

Résumé v

Abstract vii

Liste des tableaux xi

Liste des figures xiii

Introduction 1

Chapitre premier – Matériel et méthodes 3

1.1 Description du réseau de placettes et du territoire à l'étude 3

1.2 Implantation des placettes et cueillette des données 6

1.3 Traitements mathématiques et analyses statistiques 7

Chapitre deux - Résultats 9

2.1 Caractéristiques dendrométriques après le traitement 9

2.2 Développement des tiges (hauteur ≥ 60 cm) 9

2.2.1 Accroissement quinquennal en diamètre 9

2.2.2 Accroissement quinquennal en hauteur 9

2.2.3 Volume total et accroissement quinquennal en volume total à l'hectare 10

2.2.4 Volume total et accroissement quinquennal en volume total par tige des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare 10

Chapitre trois - Discussion 27

Conclusion 31

Références bibliographiques 33

Liste des tableaux

page

Tableau 1. Répartition des placettes-échantillons selon les régions administratives 3

Tableau 2. Valeurs du premier quartile (Q_1), de la moyenne (Moy) et du troisième quartile (Q_3) pour les covariables densité initiale (tiges/ha) et IQS (m) utilisées dans les analyses de la covariance 8

Tableau 3. Caractéristiques dendrométriques des peuplements témoins et traités après le traitement 11

Tableau 4. Analyse de la covariance de l'accroissement quinquennal en D_{1000} 12

Tableau 5. Moyennes ajustées de l'accroissement quinquennal en D_{1000} (cm) dans les cas de covariables significatives ou d'interactions significatives d'une covariable et des traitements 12

Tableau 6. Analyse de la covariance de l'accroissement quinquennal en hauteur 12

Tableau 7. Moyennes ajustées de l'accroissement quinquennal en hauteur (m) dans les cas de covariables significatives ou d'interactions significatives d'une covariable et des traitements 16

Tableau 8. Analyse de la covariance du volume total cinq ans après traitement 16

Tableau 9. Analyse de la covariance de l'accroissement quinquennal en volume total 16

Tableau 10. Moyennes ajustées du volume total (m^3) cinq ans après traitement dans les cas de covariables significatives ou d'interactions significatives d'une covariable et des traitements 20

Tableau 11. Moyennes ajustées de l'accroissement quinquennal en volume total (m^3) dans les cas de covariables significatives ou d'interactions significatives d'une covariable et des traitements 20

Tableau 12. Analyse de la variance du volume moyen (dm^3) par tige cinq ans après traitement des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare 20

Tableau 13. Analyse de la variance de l'accroissement quinquennal en volume moyen (dm^3) par tige des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare 24

Liste des figures

page

Figure 1. Localisation des placettes-échantillons à l'échelle provinciale 4

Figure 2. Répartition des placettes-échantillons selon le type de peuplement et les sous-domaines bioclimatiques 5

Figure 3. Schéma d'une paire de placettes-échantillons 6

Figure 4. Données et droites ajustées par régression de l'accroissement quinquennal en dhp des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare selon la densité initiale des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE) 13

Figure 5. Données et droites ajustées par régression de l'accroissement quinquennal en dhp des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare selon l'indice de qualité de station des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE) 14

Figure 6. Données et droites ajustées par régression de l'accroissement quinquennal en hauteur selon la densité initiale des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE) 15

Figure 7. Données et droites ajustées par régression de l'accroissement quinquennal en hauteur selon l'indice de qualité de station des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE) 17

Figure 8. Données et droites ajustées par régression du volume total cinq ans après traitement selon la densité initiale des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE) 18

Figure 9. Données et droites ajustées par régression de l'accroissement quinquennal en volume total selon la densité initiale des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE) 19

Figure 10. Données et droites ajustées par régression du volume total cinq ans après traitement selon l'indice de qualité de station des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE) 21

Figure 11. Données et droites ajustées par régression de l'accroissement quinquennal en volume total selon l'indice de qualité de station des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE) 22

page

Figure 12. Volume total immédiatement après traitement zéro (0) et cinq (5) ans après traitement des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE) 23

Figure 13. Volume total moyen par tige cinq ans après traitement des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare des peuplements éclaircis et témoins 24

Figure 14. Accroissement quinquennal moyen en volume par tige des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare des peuplements éclaircis et témoins 25

Introduction

Depuis le début des années 1990, la pratique de l'éclaircie précommerciale a connu un essor exponentiel dans les forêts résineuses publiques du Québec. De 1990 à 2000, les superficies traitées annuellement sont passées de 19 000 à 102 000 ha (MRN 1994, MRNF 2006). L'effet de possibilité associé à ce traitement, le mode de financement donnant droit à des crédits sur les redevances et aussi la recommandation de ce traitement dans la Stratégie de protection des forêts (MRN 1994) ont largement contribué à sa popularité.

L'éclaircie précommerciale consiste à éliminer mécaniquement une partie des arbres d'un peuplement de forte densité parvenu au stade de gaulis. Le but principal est de redistribuer les ressources de la station sur un nombre restreint de tiges jugées d'avenir afin de stimuler leur croissance. La capacité de réaction à l'éclaircie est fonction de la station, de l'essence, de l'âge ainsi que de l'intensité et de la durée d'oppression (Morris *et al.* 1994). La sélection des meilleures tiges en début de révolution permet de constituer un peuplement vigoureux et de bonne qualité. Les bénéfices escomptés de ce traitement sont multiples : augmenter la croissance en diamètre des tiges, régulariser la structure du peuplement en vue d'une éclaircie commerciale ultérieure, accroître la résistance aux chablis et aux insectes en favorisant la croissance en diamètre d'arbres plus vigoureux et en ajustant la composition en espèces du peuplement, réduire les coûts de récolte et de transformation lors des coupes subséquentes, hausser la valeur des produits et enfin favoriser la création d'emplois (MRN 2002).

L'augmentation de la production marchande consécutive à l'éclaircie précommerciale a longtemps été reconnue comme le principal bénéfice. Toutefois, l'historique de ce traitement est relativement court et très peu d'ouvrages ont porté sur le rendement à long terme de peuplements traités. Les modifications des hypothèses de rendement stipulées dans les quatre versions du Manuel d'aménagement forestier, témoignent bien de l'incertitude des effets réels de ce traitement. Lors des trois premières versions des Plans d'aménagement forestier (PGAF), la croissance des peuplements éclaircis était simulée en leur attribuant une production équivalente aux plantations. Lors des plans de 2000-2005, quelques régions ont révisé la production à la baisse en attribuant, aux peuplements éclaircis, un rendement identique aux forêts naturelles, mais avec un âge d'exploitabilité réduit de 20 %. Par la suite, l'Avis scientifique du Comité consultatif scientifique du Manuel d'aménagement forestier est venu réorienter les objectifs du traitement en précisant que l'éclaircie permet d'accroître la production par arbre et non celle du peuplement (MRN 2002). Dans la nouvelle génération des PGAF, la production des peuplements éclaircis est dorénavant simulée comme étant équivalente à celle de peuplements naturels de densité forte. L'effet positif du traitement est maintenant davantage axé sur l'augmentation de la valeur des tiges résiduelles et sur la gestion de la composition.

L'acquisition de connaissances sur les effets réels de traitements sylvicoles est nécessaire afin de vérifier les hypothèses de rendement prévues au Manuel d'aménagement forestier. En outre, elle servira à élaborer des modèles de croissance propres à l'évolution des peuplements traités. Dans le cadre du programme de la mesure des effets réels, l'éclaircie précommerciale pour la production du sapin, des épinettes, du pin gris et du mélèze ou du thuya de l'Est a été jugée prioritaire (MRNFP 2003). Depuis 1995, un réseau de placettes-échantillons a été installé et mesuré aux cinq ans dans les peuplements résineux et mixtes du domaine public québécois. En plus de préciser les rendements découlant de l'application opérationnelle de l'éclaircie précommerciale de diverses essences, les connaissances acquises serviront à fixer les caractéristiques de peuplements et de stations propices à l'exécution du traitement.

Le présent mémoire dresse un premier bilan des résultats de cinq ans obtenus à la suite d'une éclaircie précommerciale de divers peuplements résineux et mixtes de résineux et feuillus intolérants à l'ombre. Le principal objectif de cet ouvrage est de quantifier l'effet obtenu à court terme de l'éclaircie sur les accroissements en diamètre, en hauteur et en volume des peuplements ainsi qu'en volume par tige.

Chapitre premier

Matériel et méthodes

1.1 Description du réseau de placettes et du territoire à l'étude

De 1995 à 1999 inclusivement, 1 630 placettes ont été établies par le personnel du ministère des Ressources naturelles et de la Faune immédiatement après les travaux d'éclaircie exécutés par les compagnies forestières. Le tableau 1 présente la répartition des placettes établies selon les régions administratives. À l'origine, un réseau de 1 800 placettes était prévu. Toutefois, l'objectif n'a pu être atteint principalement du fait que certaines unités de gestion n'ont pas été en mesure de participer à la première année d'établissement. Parmi les 1 630 placettes installées, 1 530 ont été conservées. Les autres ont dû être éliminées en raison surtout de leur inaccessibilité lors du remesurage.

La répartition des placettes couvre l'ensemble du territoire forestier, mais se concentre davantage dans les domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau jaune, de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses (Figure 1). Ce vaste territoire est caractérisé par un gradient nord-sud des températures annuelles moyennes variant de -2,5 à 5 °C (Robitaille et Saucier 1998). Les précipitations annuelles moyennes varient selon un axe est-ouest. La partie ouest présente un climat continental avec des précipitations annuelles modérées (700 – 1 200 mm). Plus à l'est, le climat maritime favorise des précipitations plus abondantes (900 – 1 600 mm).

Le réseau de placettes comporte une gamme variée de jeunes peuplements issus de coupes totales et de feux. L'appellation des peuplements a été déterminée à partir de l'inventaire dendrométrique effectué lors de l'implantation des placettes. Un regroupement a permis d'identifier cinq principaux types : les peuplements mixtes de résineux et de feuillus intolérants à l'ombre, les sapinières, les pessières noires, les pinèdes grises et les peuplements de sapins et d'épinettes noires (sapinières-pessières). Il est possible de déceler une certaine tendance de l'abondance des peuplements selon un gradient est-ouest (Figure 2). En effet, la représentation des pessières est nettement supérieure dans les sous-domaines bioclimatiques de l'ouest alors que l'inverse est observé dans les sapinières. Pour ce qui est des pinèdes, elles sont absentes des sous-domaines de l'est.

Tableau 1. Répartition des placettes-échantillons selon les régions administratives

Région administrative	Nombre de placettes	Fréquence (%)
01	76	5
02	492	30
03	134	8
04	100	6
06	32	2
07	76	5
08	460	28
09	170	10
11	42	3
12	48	3
Total	**1 630**	**100**

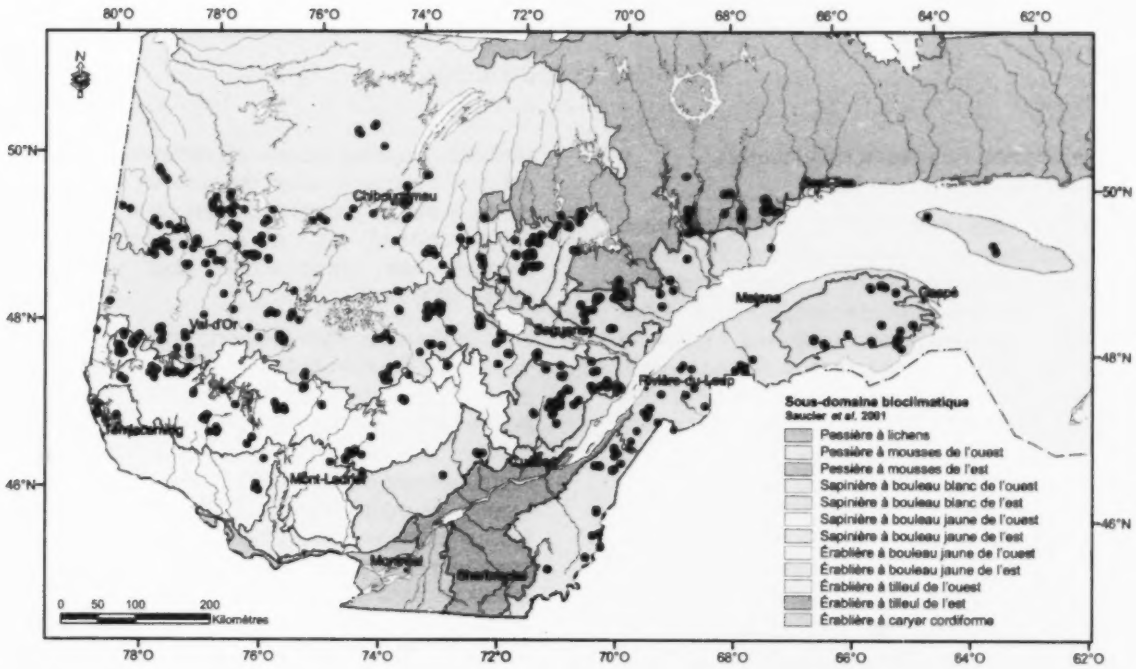


Figure 1. Localisation des placettes-échantillons à l'échelle provinciale.

Sous-domaine bioclimatique	Sous-région écologique	Appellation
3 ouest	3aM, 3aS et 3bT	Érablière à bouleau jaune de l'ouest
3 est	3cT, 3dM, 3dS et 3dT	Érablière à bouleau jaune de l'est
4 ouest	4aT, 4bM, 4bS, 4bT et 4cT	Sapinière à bouleau jaune de l'ouest
4 est	4dT, 4eT, 4fM, 4fS, 4fT et 4gT	Sapinière à bouleau jaune de l'est
5 ouest	5aT, 5bT, 5cM, 5cS, 5cT et 5dT	Sapinière à bouleau blanc de l'ouest
5 est	5eS, 5eT, 5fS, 5gT, 5hT, 5iT et 5jT	Sapinière à bouleau blanc de l'est
6 ouest	6aT, 6cT, 6dT, 6eT et 6fT	Pessière à mousses de l'ouest
6 est	6hT, 6iS, 6iT et 6jT	Pessière à mousses de l'est

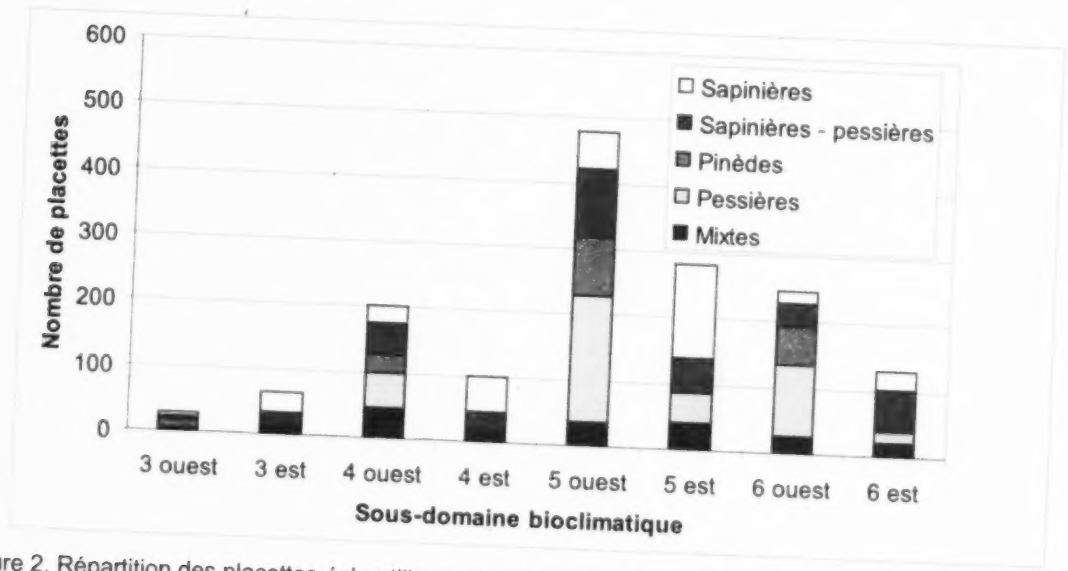


Figure 2. Répartition des placettes-échantillons selon les types de peuplement et les sous-domaines bioclimatiques.

1.2 Implantation des placettes et cueillette des données

Une seule paire de placettes, soit une placette traitée jumelée à une placette témoin, a été établie dans chacun des peuplements échantillonnés. Les caractéristiques physiques (topographie, drainage et pente) et dendrométriques (composition et densité) d'une même paire devaient être similaires. Il est important de noter que pour respecter les critères de similitude, la localisation des placettes a été effectuée avant leur traitement tandis que leur mesurage s'est fait après l'éclaircie.

Les placettes témoins ont été établies au centre d'une superficie non traitée dont les dimensions minimales devaient être de 50 m x 50 m (Figure 3). Une telle superficie est essentielle pour éviter les effets de bordure dans la placette. La placette témoin est jumelée à la placette éclaircie, située le plus près possible de l'aire témoin, tout en conservant une bande de protection de 20 m de la bordure de cette dernière. La sélection des peuplements a été effectuée de manière à assurer une représentation fidèle des peuplements habituellement traités en éclaircie précommerciale. L'application du traitement a été faite selon les normes en vigueur à l'époque (MFO 1992, MRN 1997).

Les tiges non marchandes (hauteur ≥ 60 cm et diamètre à hauteur de poitrine [dhp] ≤ 9 cm) ont été dénombrées selon l'essence commerciale et la classe de dhp de 2 cm à l'intérieur d'une sous-placette de 100 m² localisée au centre de la placette principale de 400 m². Les tiges marchandes (dhp ≥ 9,1 cm) ont été dénombrées selon l'essence commerciale et la classe de dhp de 2 cm dans la placette principale. De plus, 20 arbres-études, sélectionnés parmi les arbres d'avenir ont été mesurés à l'intérieur de chaque placette de 400 m², à l'exception de la première année d'implantation pour laquelle seuls trois arbres étaient retenus. Ces arbres-études, d'essences résineuses et représentatives de la composition du peuplement, ont fait l'objet de mesures précises du dhp (mm) et de la hauteur (cm). L'âge a été établi soit par le dénombrement des verticilles, le temps écoulé depuis la dernière perturbation majeure (coupes ou feux), ou par le comptage des cernes d'une barette de sondage (carotte) prise à 0,15, 0,30, 1,00 ou 1,30 m du niveau le plus haut du sol. La distance et l'azimut par rapport au centre de la placette ont été notés pour les trois arbres situés le plus près du piquet central. Le pourcentage de recouvrement des strates arborescentes, arbustives, herbacées et muscinales a été évalué à l'intérieur de chaque

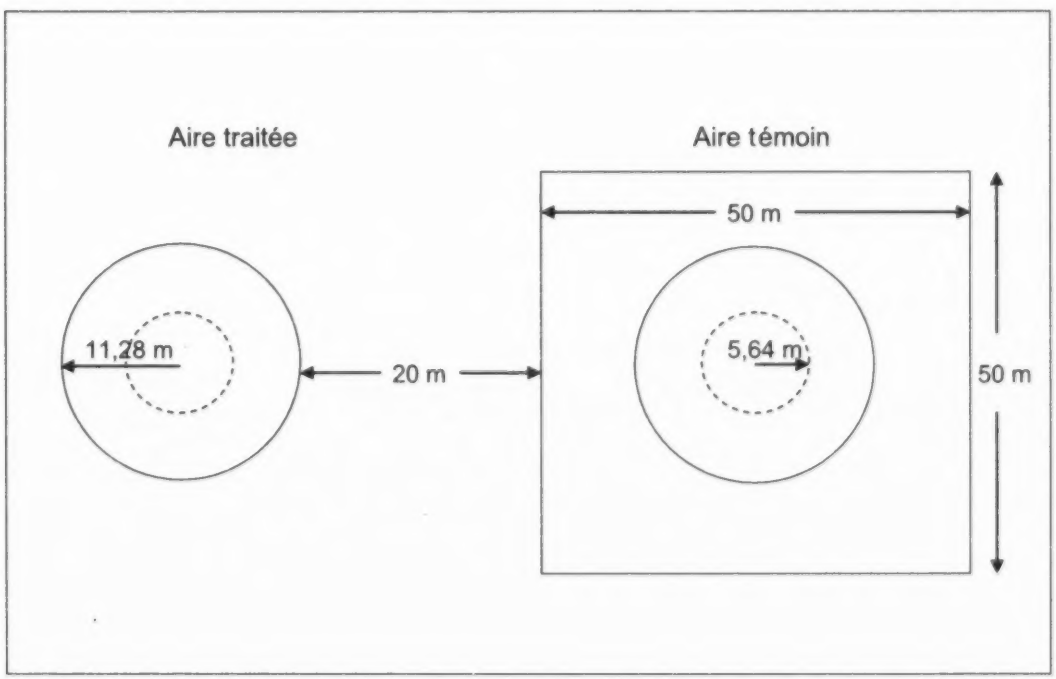


Figure 3. Schéma d'une paire de placettes-échantillons.

placette de 400 m². Un relevé des principales variables topographiques et pédologiques de la station a aussi été effectué. Le dénombrement et les prises de mesures ont été effectués lors des deux mesurages quinquennaux (1995-1999 et 2000-2004).

1.3 Traitements mathématiques et analyses statistiques

Le nombre de placettes retenu à des fins d'analyses est de 1 422. Les placettes devenues orphelines (une des deux placettes de la paire, soit la témoin, soit l'éclaircie, détruite) au deuxième mesurage n'ont pas été prises en compte. Les analyses ont été effectuées par type de peuplement et les paires de placettes issues du même type constituent des répétitions.

L'indice de qualité de station (IQS) de chaque placette a été établi au premier mesurage avec les modèles de croissance internodale de Mailly et Gaudreault (2005) (Équation 1). Ces modèles présentent le net avantage d'avoir été conçus spécifiquement pour calculer l'IQS de jeunes peuplements. Seuls les quatre plus gros arbres de l'essence principale de la placette (100 arbres à l'hectare), conformément à la définition de la hauteur dominante, ont été retenus. L'IQS de chaque placette est déterminé par celui de l'essence résineuse principale, soit l'essence présentant la surface terrière la plus élevée. L'âge des arbres, évalué à diverses hauteurs, a été corrigé selon l'approche proposée par Pothier et Savard (1998) (Équation 2), laquelle permet d'estimer le nombre d'années nécessaires à un arbre pour croître de 0 à 1 m. De cette façon, l'âge de tous les arbres a pu être corrigé à la hauteur de référence du modèle fixée à 1 m. L'IQS internodal ainsi obtenu a été converti en IQS selon Pothier et Savard (1998) (Équation 3), car c'est ce dernier qui est actuellement utilisé au Québec pour le calcul de la possibilité forestière.

Équation 1 : $$CI_A = \frac{H_A - HR}{A - A_0}\,100$$

où

CI_A = croissance internodale (cm/an) de l'âge (A) = 1,2... 50 (ans)

H_A = hauteur moyenne (m) à l'âge (A)

A = âge

HR = hauteur de référence de la lecture de l'âge (1 m)

A_0 = facteur d'ajustement de l'âge.

Équation 2 : $$T_1 = b_1 IQS_{CI}^{\,b_2}$$

où

T_1 = nombre d'années nécessaire à un arbre pour passer de 0 à 1 m de hauteur

IQS_{CI} = indice de qualité de station déterminé par la méthode de croissance internodale

b_i = paramètres à estimer.

Équation 3 : $$IQS_{PS} = m \cdot \left[HR + e^{b_1} \cdot (CI_A)^{b_2}\right] \cdot b_0$$

où

IQS_{PS} = indice de qualité de station converti selon Pothier-Savard

HR = hauteur de référence de la lecture de l'âge (1 m)

CI_A = croissance internodale (cm/an) de l'âge (A) = 1,2... 50 (ans)

m et b_i = paramètres à estimer.

Un tarif de cubage a été construit en étalonnant des relations hauteur-diamètre, par essence, par traitement et par période à partir des données des arbres-études. Un modèle non linéaire tenant compte d'un petit nombre d'arbres-études a été utilisé (Bégin et Raulier 1995) (Équation 4). La procédure NLMIXED du logiciel SAS, version 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC) a été retenue pour obtenir les paramètres de cette équation. La hauteur de chaque tige (dhp ≥ 1,1 cm), recensée lors de l'inventaire dendrométrique, a alors été estimée par classe de dhp de 2 cm. Le volume total (avec écorce) des placettes a été estimé à l'aide du tarif de cubage de Honer *et al.* (1983). Les vétérans, soit les tiges de plus de 22 cm au dhp, ont été exclus des analyses.

Équation 4 :

$$Htot_{ij} = 1{,}3 + \frac{dhp_{ij}}{b_1 + dhp_{ij}\left(\frac{\frac{DMOY_i}{\sqrt{HMOY_i - 1{,}3}} - b_1}{DMOY_i}\right)}$$

où

$Htot_{ij}$ = hauteur totale de la tige j de la placette i (m)

dhp_{ij} = diamètre à hauteur de poitrine de la tige j de la placette i (cm)

$DMOY_i$ = diamètre moyen (arithmétique) des tiges de la placette i (cm)

$HMOY_i$ = hauteur totale moyenne des tiges de la placette i (m).

Les analyses de la variance ont été effectuées, par type de peuplement, sur l'accroissement quinquennal en dhp des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare (D_{1000}), en hauteur, en volume à l'hectare et en volume par tige des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare ($V_{tige1000}$). Les analyses ont aussi été réalisées sur le volume à l'hectare et sur le volume par tige des 1 000 plus grosses tiges (V_{1000}) cinq ans après traitement. La hauteur a été calculée à partir des arbres-études des étages dominant et codominant (H_{cd}). Étant donné le jeune âge moyen des peuplements à l'étude et la faible proportion des tiges ayant atteint le diamètre marchand, les résultats portent sur le volume total. La procédure MIXED de la version 9.1 du logiciel SAS a été retenue pour ces analyses. Un modèle mixte à deux facteurs a été utilisé : un facteur à effets fixes, les traitements, et un facteur à effets aléatoires, les placettes. Comme les conditions de départ des paires de placettes pouvaient varier l'une de l'autre, deux covariables, soit la densité avant traitement (initiale) et l'IQS, ont été testées afin d'ajuster les données. En l'absence de données avant éclaircie pour les placettes traitées, et puisque les placettes d'une même paire devaient avoir des conditions similaires avant intervention, une densité initiale identique, fixée par la placette témoin, a été appliquée à la paire de placettes. Lorsque l'interaction d'une covariable et des traitements était significative, les traitements ont été comparés à trois valeurs différentes de la covariable, soit le premier quartile (Q_1), la moyenne (Moy) et le troisième quartile (Q_3) (Milliken et Johnson 2002). Dans le cas d'un modèle avec une covariable et un effet traitement, mais sans interaction significative de ces derniers, les moyennes des traitements ont alors été comparées seulement à la valeur moyenne de la covariable. Les valeurs des quartiles et de la moyenne des covariables utilisées dans ces analyses sont présentées au tableau 2. L'hypothèse de normalité des erreurs de chacune des analyses a été testée sur les résidus à l'aide de la statistique de Shapiro-Wilk, tandis que l'homogénéité des variances des résidus a été vérifiée de façon graphique. Au besoin, une transformation sur la variable dépendante (logarithme ou racine carrée) a été utilisée (en l'absence de normalité ou en présence d'hétéroscédasticité). Un seuil $\alpha = 0{,}05$ a été retenu pour toutes les analyses.

Tableau 2. Valeurs du premier quartile (Q_1), de la moyenne (Moy) et du troisième quartile (Q_3) pour les covariables densité initiale (tiges/ha) et IQS (m) utilisées dans les analyses de la covariance

Quartiles	Mixtes		Pessières		Pinèdes		Sapinières - Pessières		Sapinières	
	Densité	IQS	Densité	IQS	Densité	IQS	Densité	IQS	Densité	IQS
Q_1	7 950	12,5	4 900	10,3	5 025	13,5	7 900	11,3	11 925	12,3
Moy	14 406	13,4	7 662	11,2	7 772	15,1	12 306	12,2	19 904	13,2
Q_3	18 550	14,2	9 500	12,1	9 900	16,5	14 750	13,2	25 538	14,0

Chapitre deux

Résultats

2.1 Caractéristiques dendrométriques après le traitement

Lors de l'implantation des paires de placettes, les peuplements témoins présentaient un nombre élevé de tiges, lequel variait grandement à la fois entre les types de peuplement et à l'intérieur de ceux-ci. Les sapinières constituaient les peuplements les plus denses avec une moyenne de 19 904 tiges/ha, la densité variait de 900 à 51 875 tiges/ha (Tableau 3). Les pessières et les pinèdes étaient moins denses avec une moyenne de 7 662 et 7 772 tiges/ha respectivement. Immédiatement après le traitement, les sapinières demeuraient toujours les plus denses avec en moyenne 2 916 tiges/ha alors que les pessières affichaient la plus faible densité moyenne avec 1 982 tiges/ha.

L'âge moyen était similaire d'un type de peuplement à l'autre et se situait entre 12 et 15 ans, mais variait grandement à l'intérieur d'un même peuplement. Par exemple, les pessières éclaircies étaient âgées de 3 à 58 ans. La hauteur moyenne des tiges étudiées des étages dominant et codominant (H_{cd}) des peuplements se situait entre 4,2 et 5,4 m. À la suite du traitement, le diamètre moyen quadratique (D_q) était significativement plus élevé dans les placettes traitées de tous les types de peuplement. En général, la hausse du D_q après éclaircie était d'environ 1 cm.

2.2 Développement des tiges (hauteur ≥ 60 cm)

2.2.1 Accroissement quinquennal en diamètre

L'accroissement quinquennal en D_{1000} des pinèdes s'est avéré significativement supérieur dans les placettes traitées (Tableau 4). L'effet significatif du traitement a aussi été observé pour les autres types de peuplement, mais en interaction avec la densité initiale. Cette interaction est le résultat d'une hausse de l'écart entre l'accroissement en D_{1000} des deux traitements avec l'augmentation de la densité initiale (Figure 4). Bien que l'accroissement des placettes témoins soit demeuré stable avec l'augmentation de la densité initiale, celui des placettes traitées s'est accru. Il existe une différence significative d'accroissement entre les deux traitements peu importe la densité initiale (Tableau 5). La hausse de l'IQS a généralement eu un effet positif sur l'accroissement en D_{1000} de l'ensemble des peuplements (Figure 5). L'interaction de l'IQS et du traitement dans les peuplements mixtes s'est avérée significative. Cette interaction s'exprime par une hausse de l'écart entre les traitements avec l'augmentation de l'IQS.

Les sapinières ont réagi fortement à la suite de l'éclaircie. À densité moyenne, l'accroissement en D_{1000} des placettes traitées a été de 3,2 cm (erreur-type = err.t. : 0,1 cm) comparativement à 1,8 cm (err.t. : 0,1 cm) dans les placettes témoins. Le gain moyen d'accroissement des autres peuplements et celui des peuplements mixtes, des sapinières-pessières, des pinèdes et des pessières a été respectivement de 1,0, 0,9, 0,6 et 0,6 cm (err.t. : 0,1, 0,1, 0,1 et 0,1 cm).

2.2.2 Accroissement quinquennal en hauteur

Le traitement a stimulé l'accroissement quinquennal en hauteur dans les sapinières-pessières (Tableau 6). À l'exception des peuplements mixtes, l'effet significatif du traitement a aussi été observé dans les autres peuplements, mais en interaction avec la densité pour les pessières et les pinèdes et avec l'IQS pour les sapinières. La hausse de la densité initiale dans les pinèdes a provoqué une diminution de l'accroissement dans les placettes traitées et une certaine stabilité dans les placettes témoins (Figure 6). En fait, aucune différence significative d'accroissement n'a été observée pour de faibles densités bien que l'accroissement des peuplements plus denses ait été significativement supérieur dans les placettes témoins (Tableau 7). Avec la hausse de la densité initiale dans les pessières, l'accroissement en hauteur est demeuré stable dans les placettes traitées tandis qu'une tendance à la baisse était observée dans les placettes témoins. L'accroissement en hauteur de l'ensemble des peuplements dépend de l'IQS. Les stations les plus fertiles ont connu les meilleurs accroissements quinquennaux (Figure 7). L'effet de la hausse de l'IQS est semblable pour les deux traitements à l'exception des sapinières où la différence d'accroissement, bien qu'elle tende à diminuer, demeure significative.

Le gain moyen en hauteur attribuable au traitement a été de 19, 21 et 29 cm (err.t. : 2, 3 et 3 cm) pour les pessières, les sapinières-pessières et les sapinières respectivement. La situation inverse a été observée dans les pinèdes alors que l'accroissement moyen dans les placettes témoins a été supérieur de 8 cm (err.t. : 3 cm).

2.2.3 Volume total et accroissement quinquennal en volume total à l'hectare

L'effet significatif du traitement sur le volume total cinq ans après éclaircie et l'accroissement quinquennal en volume total ont habituellement été observés en interaction avec la densité initiale (Tableaux 8 et 9). En général, une hausse plus marquée est observée dans les placettes témoins avec l'augmentation de la densité initiale (Figures 8 et 9). L'écart entre les deux traitements, bien que supérieur dans les peuplements denses, demeure toujours significatif peu importe la densité avant traitement (Tableaux 10 et 11). L'augmentation de l'IQS a généralement eu un effet positif sur le volume et sur l'accroissement en volume de l'ensemble des types de peuplement (Figures 10 et 11). L'interaction de l'IQS et des traitements s'est avérée significative seulement pour l'accroissement en volume des sapinières. Cette interaction s'exprime par une hausse de l'écart entre les traitements avec l'augmentation de la fertilité de la station.

Le volume total moyen, résineux et feuillus, des placettes témoins immédiatement après l'éclaircie était plus élevé que celui des placettes traitées (Figure 12). Cinq ans après le traitement, pour des valeurs de densités moyennes, le volume était nettement supérieur dans les placettes témoins de chaque type de peuplement. Les sapinières non traitées affichaient un volume moyen de 67 m^3/ha (err.t. : 2 m^3/ha) alors que celui des placettes éclaircies étaient de 35 m^3/ha (err.t. : 2 m^3/ha). Pour ce qui est des pessières, elles présentaient un volume moyen de 30 m^3/ha (err.t. : 1 m^3/ha) et 19 m^3/ha (err.t. : 1 m^3/ha) dans les placettes témoins et traitées respectivement. À l'exception des peuplements mélangés, les feuillus ne constituaient qu'une très faible part du volume, notamment dans les placettes traitées où leur proportion se situait en deçà de 5 %. L'accroissement quinquennal moyen en volume total a été plus élevé dans les peuplements témoins de tous les types de peuplement. Les sapinières non traitées affichaient un accroissement moyen en volume de 33 m^3/ha alors que celui des placettes éclaircies était de 22 m^3/ha. L'écart moyen d'accroissement entre les deux traitements des autres types de peuplement a été de 6 m^3/ha (err.t. : 1 m^3/ha) à l'exception des pessières où il a été de 3 m^3/ha (err.t. : 1 m^3/ha).

2.2.4 Volume total et accroissement quinquennal en volume total par tige des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare

Le volume total moyen par tige des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare ($V_{tige1000}$) s'est avéré significativement supérieur dans les placettes traitées des sapinières, des sapinières-pessières et des pinèdes cinq ans après traitement (Tableau 12). Les pinèdes affichent des valeurs moyennes de 25 et 26 dm^3 par tige pour les placettes témoins et traitées respectivement (Figure 13). L'accroissement moyen en $V_{tige1000}$ est significativement plus élevé dans les placettes traitées de tous les types de peuplement (Tableau 13). Les sapinières affichent un accroissement en $V_{tige1000}$ de 9 et 14 dm^3 dans les placettes témoins et traitées respectivement. Le gain moyen d'accroissement par tige attribuable au traitement des autres types de peuplement a été de 3 dm^3 sauf pour les pessières où il était de 1 dm^3 (Figure 14).

Tableau 3. Caractéristiques dendrométriques des peuplements témoins et traités après le traitement

Type de peuplement	Variable	Témoin			Traité		
		Moyenne ± écart type	Min	Max	Moyenne ± écart type	Min	Max
Mixtes (n=89)	Âge	12 ± 5	2	36	12 ± 5	2	47
	H_{cd} (m)	4,7 ± 1,4	2,4	9,9	4,6 ± 1,4	1,8	8,4
	D_q (cm)	3,5 ± 1,1	2,0	8,2	4,6 ± 1,7	2,2	9,7
	N_t (tiges/ha)	14 406 ± 8 976	2 200	39 500	2 436 ± 1 268	500	12 200
	N_m (tiges/ha)	140 ± 308	0	2 500	128 ± 240	0	1 500
	ST_t (m^2/ha)	12,3 ± 8,2	1,8	57,1	4,8 ± 4,3	0,3	25,7
	ST_m (m^2/ha)	1,7 ± 4,1	0	34,8	1,6 ± 3,1	0	19,0
Pessières (n=201)	Âge	15 ± 6	4	51	15 ± 6	3	58
	H_{cd} (m)	4,3 ± 1,0	2,3	6,7	4,4 ± 1,1	2,3	7,8
	D_q (cm)	3,4 ± 0,9	2,0	7,1	4,3 ± 1,4	2,0	9,4
	N_t (tiges/ha)	7 662 ± 4 051	1 200	21 100	1 982 ± 814	300	9 350
	N_m (tiges/ha)	70 ± 146	0	1 175	74 ± 144	0	725
	ST_t (m^2/ha)	7,1 ± 5,0	0,6	27,5	3,4 ± 2,9	0,1	14,5
	ST_m (m^2/ha)	0,7 ± 1,6	0	11,9	0,7 ± 1,5	0	7,8
Pinèdes (n=89)	Âge	13 ± 5	3	42	13 ± 5	3	43
	H_{cd} (m)	5,4 ± 1,2	3,2	10,2	5,3 ± 1,3	2,6	10,4
	D_q (cm)	4,1 ± 1,1	2,1	7,2	5,3 ± 1,4	2,3	9,0
	N_t (tiges/ha)	7 772 ± 3 731	2 300	21 400	2 249 ± 650	925	4 400
	N_m (tiges/ha)	123 ± 194	0	925	114 ± 189	0	1 000
	ST_t (m^2/ha)	9,8 ± 4,6	1,8	25,9	5,2 ± 3,0	0,4	15,8
	ST_m (m^2/ha)	1,1 ± 1,8	0	11,5	1,0 ± 1,7	0	10,2
Sapinières-Pessières (n=164)	Âge	13 ± 5	2	57	13 ± 5	2	53
	H_{cd} (m)	4,3 ± 1,1	1,8	8,1	4,3 ± 1,0	2,3	7,5
	D_q (cm)	3,4 ± 0,8	2,1	7,9	4,5 ± 1,3	2,2	9,0
	N_t (tiges/ha)	12 306 ± 6 909	1 950	46 925	2 331 ± 858	875	8 175
	N_m (tiges/ha)	96 ± 155	0	875	86 ± 147	0	800
	ST_t (m^2/ha)	10,8 ± 6,7	1,4	40,7	4,1 ± 3,0	0,5	17,9
	ST_m (m^2/ha)	1,0 ± 1,6	0	9,3	0,9 ± 1,8	0	10,6
Sapinières (n=168)	Âge	12 ± 5	2	51	12 ± 5	2	53
	H_{cd} (m)	4,2 ± 1,2	1,9	10,3	4,3 ± 1,2	2,2	11,2
	D_q (cm)	3,2 ± 1,0	2,0	10,7	4,5 ± 1,5	2,0	10,0
	N_t (tiges/ha)	19 904 ± 9 999	900	51 875	2 916 ± 2 517	1 000	28 400
	N_m (tiges/ha)	104 ± 208	0	1 325	96 ± 212	0	1 425
	ST_t (m^2/ha)	15,7 ± 9,1	1,1	52,4	5,1 ± 4,5	0,5	25,6
	ST_m (m^2/ha)	1,2 ± 2,6	0	19,3	1,1 ± 2,5	0	19,3

n : nombre de paires de placettes; âge : âge corrigé pour correspondre à celui à 1 m du plus haut niveau du sol; H_{cd} : hauteur des arbres-études de l'étage dominant et codominant; D_q : diamètre moyen quadratique de toute les tiges (dhp ≥ 1,1 cm); N_t : nombre de toutes les tiges (dhp ≥ 1,1 cm); N_m : nombre de tiges marchandes (dhp ≥ 9,1 cm); ST_t : surface terrière de toutes les tiges (dhp ≥ 1,1 cm); ST_m : surface terrière des tiges marchandes (dhp ≥ 9,1 cm). La moyenne et l'écart-type ont été calculés par type de peuplement. Seules les tiges d'essences commerciales ont été comptabilisées.

Tableau 4. Analyse de la covariance de l'accroissement quinquennal en D_{1000}

Sources de variation (fixes)	Mixtes			Pessières		Pinèdes		Sapinières - Pessières		Sapinières	
	dl_n	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F
Traitement	1	91,1	0,0673	199	0,0702	**85,9**	**0,0001**	162	0,0186	166	0,0007
Densité	1	86,6	0,2142	201	0,3905			163	0,0570	167	0,3200
Densité*Traitement	1	**86,4**	**0,0002**	**199**	**0,0105**			**161**	**0,0009**	**166**	**0,0001**
IQS	1	137	0,0390	**306**	**0,0106**	**158**	**0,0032**	**235**	**0,0001**	**262**	**0,0001**
IQS*Traitement	1	**91,4**	**0,0284**								

dl_n = degrés de liberté du numérateur.

dl_d = degrés de liberté du dénominateur selon l'approximation de Satterthwaite.

Tableau 5. Moyennes ajustées de l'accroissement quinquennal en D_{1000} (cm) dans les cas de covariables significatives ou d'interactions significatives d'une covariable et des traitements

Quartiles		Mixtes		Pessières		Pinèdes		Sapinières - Pessières		Sapinières	
IQS	Densité	TE	TR	TE	TR	TE	TR	TE	TR	TE	TR
Q_1	Q_1	1,89	2,43								
	Moy	1,83	2,66								
	Q_3	1,78	2,80								
Moy	Q_1	1,92	2,58	1,39	1,83			1,68	2,41	1,90	2,96
	Moy	1,85	2,81	1,37	1,92			1,66	2,57	1,80	3,15
	Q_3	1,81	2,95	1,35	1,98			1,64	2,66	1,74	3,28
	-					2,14	2,72				
Q_3	Q_1	1,90	2,86								
	Moy	1,88	2,94								
	Q_3	1,83	3,09								

Note : Le tiret (-) indique que la covariable n'est pas significative dans le modèle.

Tableau 6. Analyse de la covariance de l'accroissement quinquennal en hauteur

Sources de variation (fixes)	Mixtes			Pessières		Pinèdes		Sapinières - Pessières		Sapinières	
	dl_n	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F
Traitement	1	86	0,2380	198	0,0291	81,9	0,4476	**161**	**0,0001**	179	0,0003
Densité	1			201	0,4124	83,4	0,0063				
Densité*Traitement	1			**198**	**0,0080**	**81,8**	**0,0352**				
IQS	1	**127**	**0,0001**	**354**	**0,0001**	**173**	**0,0001**	**272**	**0,0001**	290	0,0001
IQS*Traitement	1									**180**	**0,0063**

dl_n = degrés de liberté du numérateur.

dl_d = degrés de liberté du dénominateur selon l'approximation de Satterthwaite.

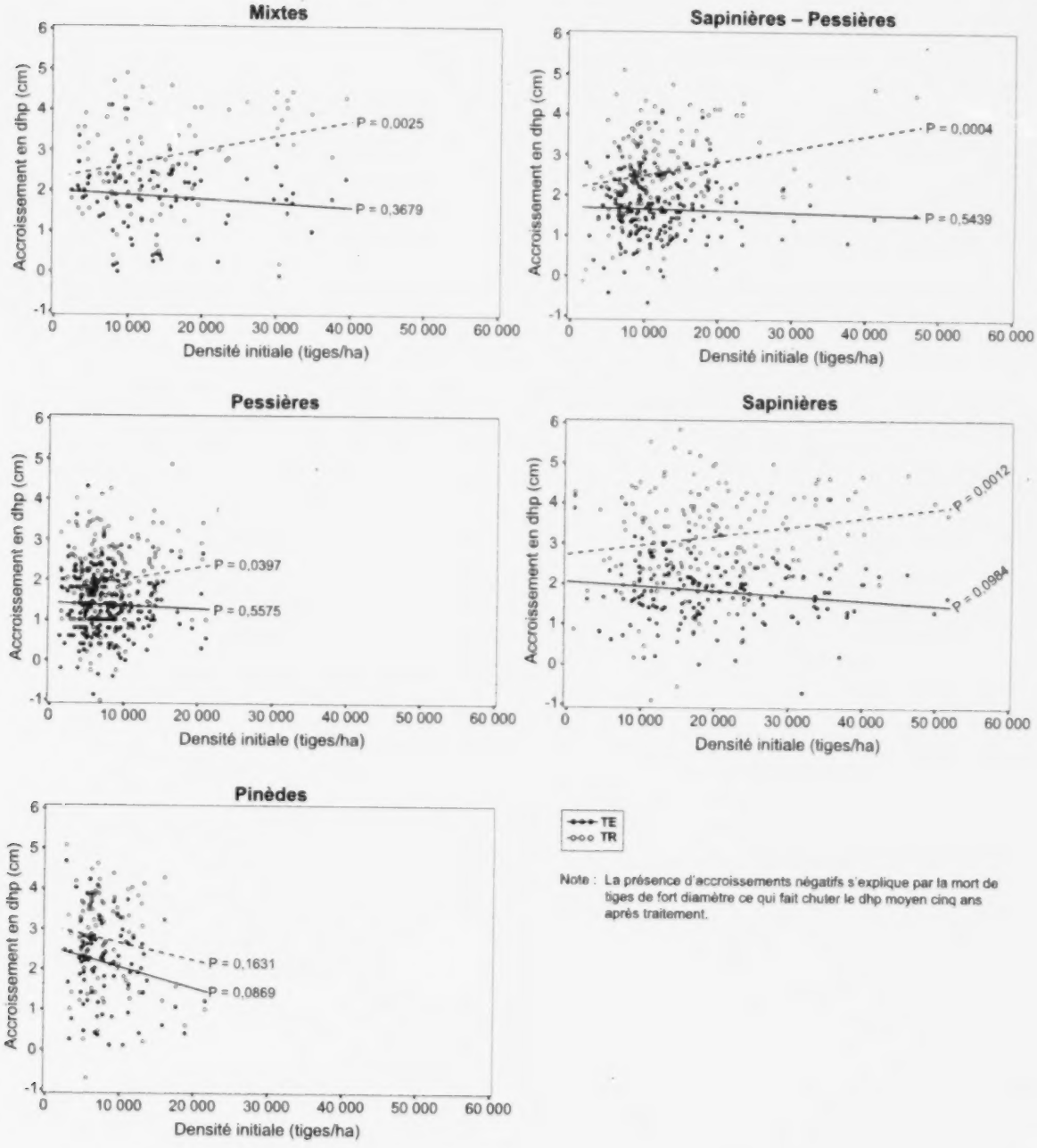
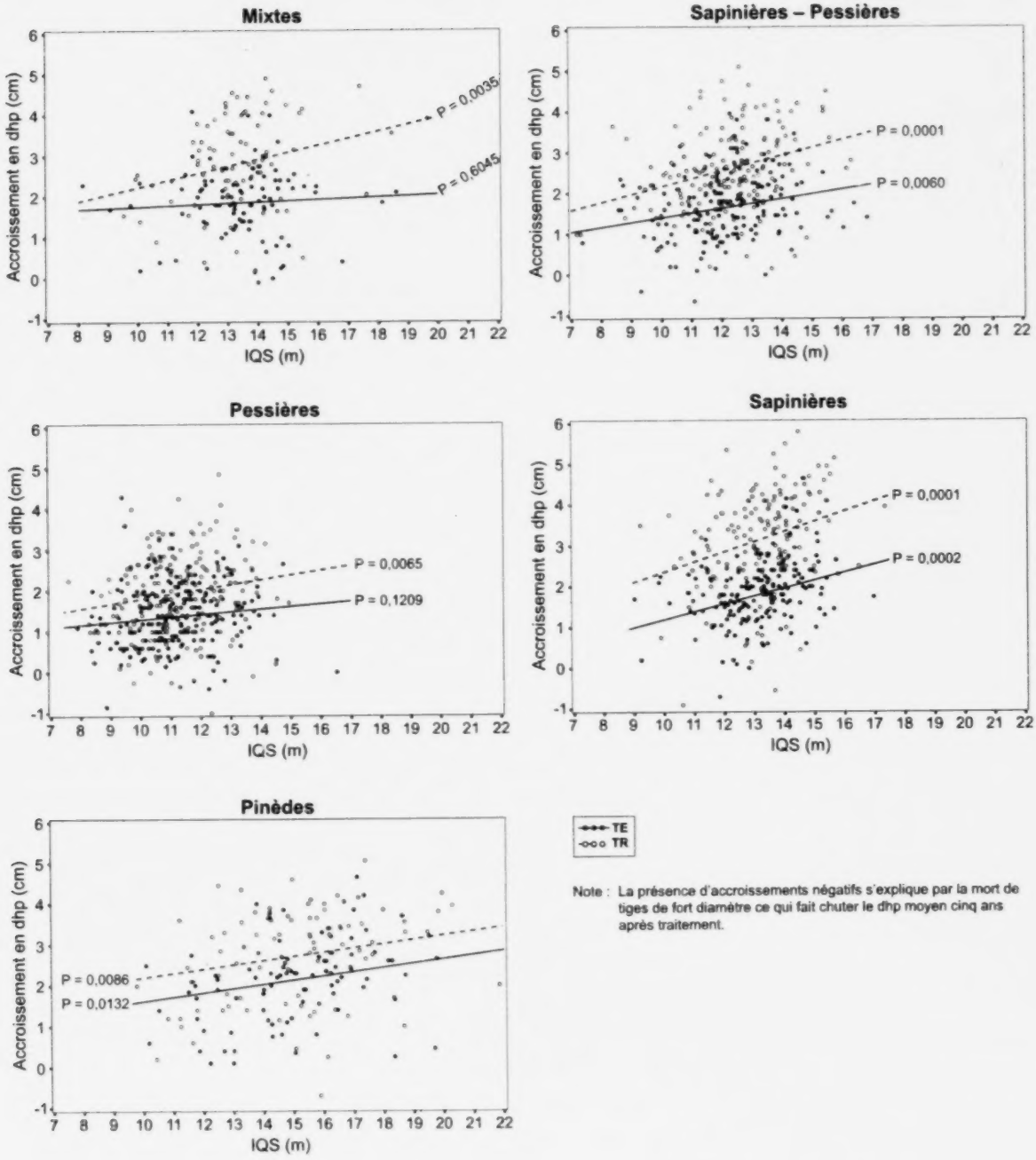


Figure 4. Données et droites ajustées par régression de l'accroissement quinquennal en dhp des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare selon la densité initiale des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE).



Note : La présence d'accroissements négatifs s'explique par la mort de tiges de fort diamètre ce qui fait chuter le dhp moyen cinq ans après traitement.

Figure 5. Données et droites ajustées par régression de l'accroissement quinquennal en dhp des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare selon l'indice de qualité de station des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE).

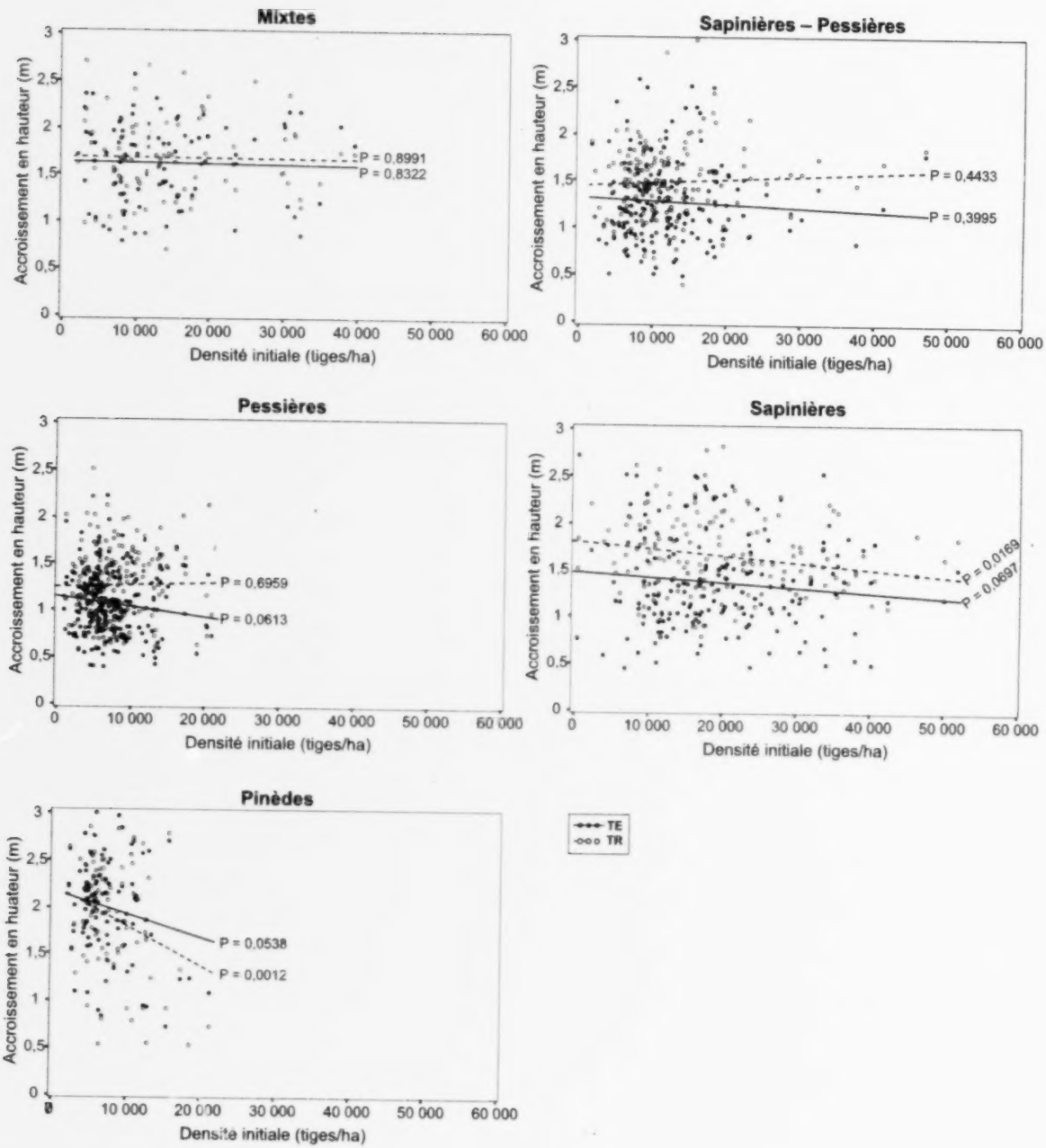


Figure 6. Données et droites ajustées par régression de l'accroissement quinquennal en hauteur selon la densité initiale des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE).

Tableau 7. Moyennes ajustées de l'accroissement quinquennal en hauteur (m) dans les cas de covariables significatives ou d'interactions significatives d'une covariable et des traitements

Quartiles		Mixtes		Pessières		Pinèdes		Sapinières - Pessières		Sapinières	
IQS	Densité	TE	TR	TE	TR	TE	TR	TE	TR	TE	TR
Q_1	Q_1										
	Moy										
	Q_3										
	-									1,22	1,56
Moy	Q_1			1,11	1,26	2,04	2,00				
	Moy			1,08	1,27	1,97	1,89				
	Q_3			1,06	1,27	1,92	1,80				
	-	1,62	1,67					1,30	1,51	1,37	1,66
Q_3	Q_1										
	Moy										
	Q_3										
	-									1,54	1,77

Note 1 : Les valeurs reliées entre elles par un trait ne sont pas statistiquement différentes à un seuil $\alpha = 0,05$.

Note 2 : Le tiret (-) indique que la covariable n'est pas significative dans le modèle.

Tableau 8. Analyse de la covariance du volume total cinq ans après traitement

Sources de variation (fixes)	Mixtes			Pessières		Pinèdes		Sapinières - Pessières		Sapinières	
	dl_n	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F
Traitement	1	86,5	0,1169	195	0,0190	86,4	0,4415	161	0,3786	161	0,0022
Densité	1	85,8	0,2645	198	0,0001	88	0,6435	165	0,0001	164	0,0004
Densité*Traitement	1	**87,3**	**0,0001**	**195**	**0,0001**	**86,3**	**0,0001**	**161**	**0,0001**	**161**	**0,0001**
IQS	1	**155**	**0,0001**	**374**	**0,0013**	**169**	**0,0001**	**315**	**0,0001**	**326**	**0,0008**
IQS*Traitement											

dl_n = degrés de liberté du numérateur.

dl_d = degrés de liberté du dénominateur selon l'approximation de Satterthwaite.

Tableau 9. Analyse de la covariance de l'accroissement quinquennal en volume total

Sources de variation (fixes)	Mixtes			Pessières		Pinèdes		Sapinières - Pessières		Sapinières	
	dl_n	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F
Traitement	1	85,8	0,5482	193	0,7428	85,7	0,9136	**157**	**0,0001**	183	0,0333
Densité	1	87,1	0,2044	196	0,0001	86,7	0,7968	**159**	**0,0001**	168	0,0001
Densité*Traitement	1	**87,9**	**0,0364**	**194**	**0,0007**	**85,6**	**0,0198**			**166**	**0,0011**
IQS	1	**131**	**0,0001**	**298**	**0,0037**	**157**	**0,0001**	**246**	**0,0001**	288	0,0001
IQS*Traitement	1									**184**	**0,0105**

dl_n = degrés de liberté du numérateur.

dl_d = degrés de liberté du dénominateur selon l'approximation de Satterthwaite.

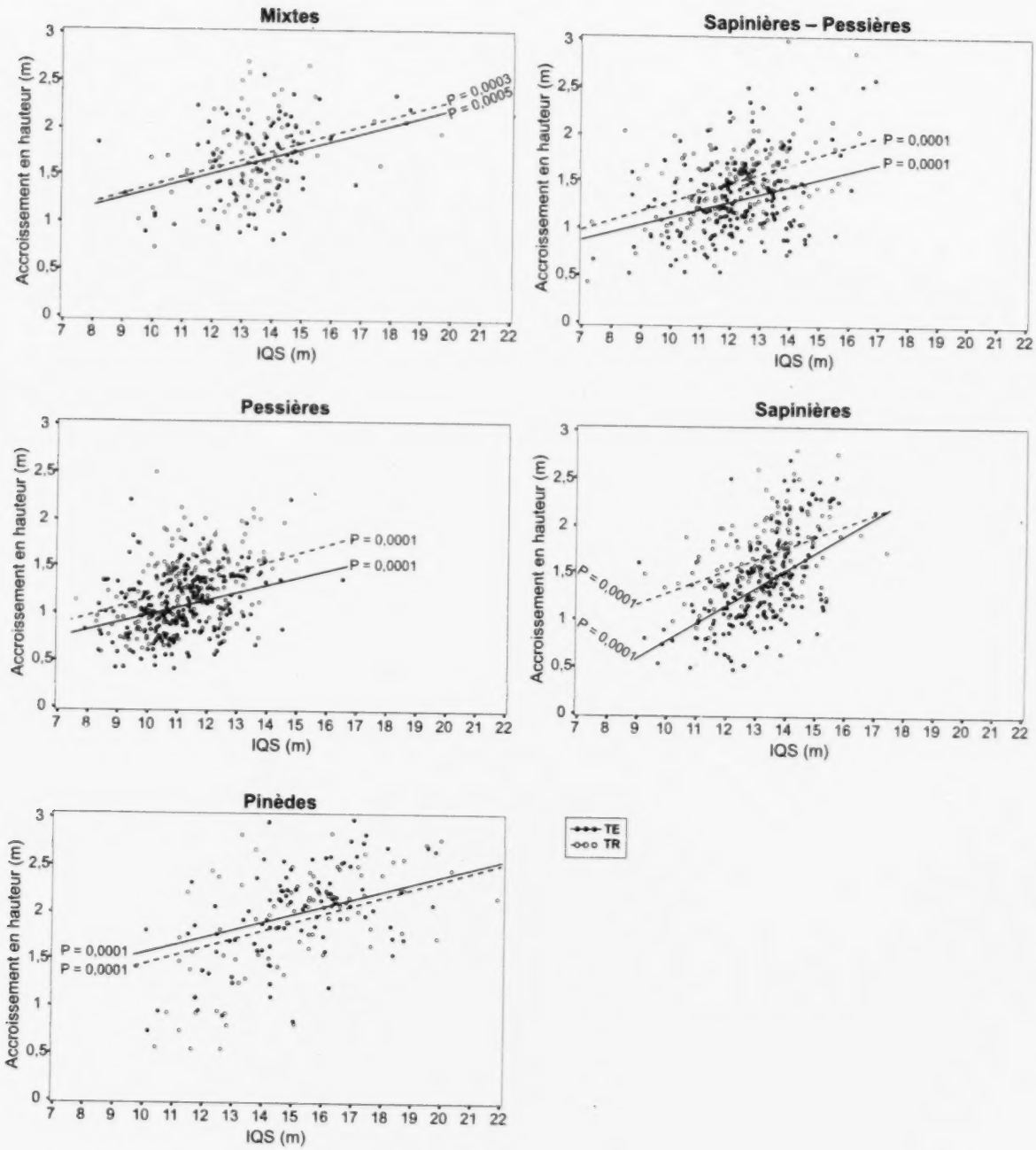


Figure 7. Données et droites ajustées par régression de l'accroissement quinquennal en hauteur selon l'indice de qualité de station des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE).

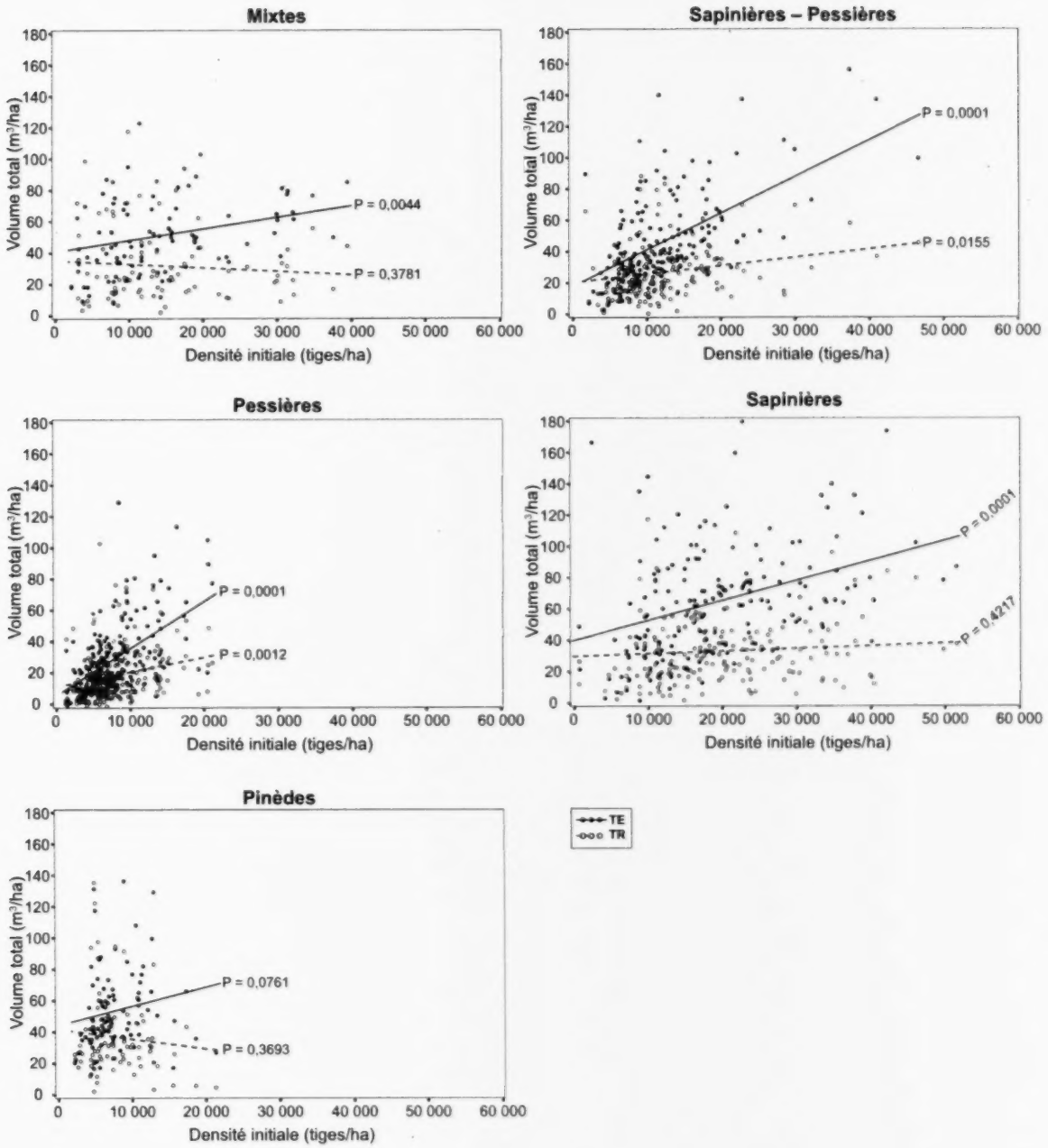


Figure 8. Données et droites ajustées par régression du volume total cinq ans après traitement selon la densité initiale des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE).

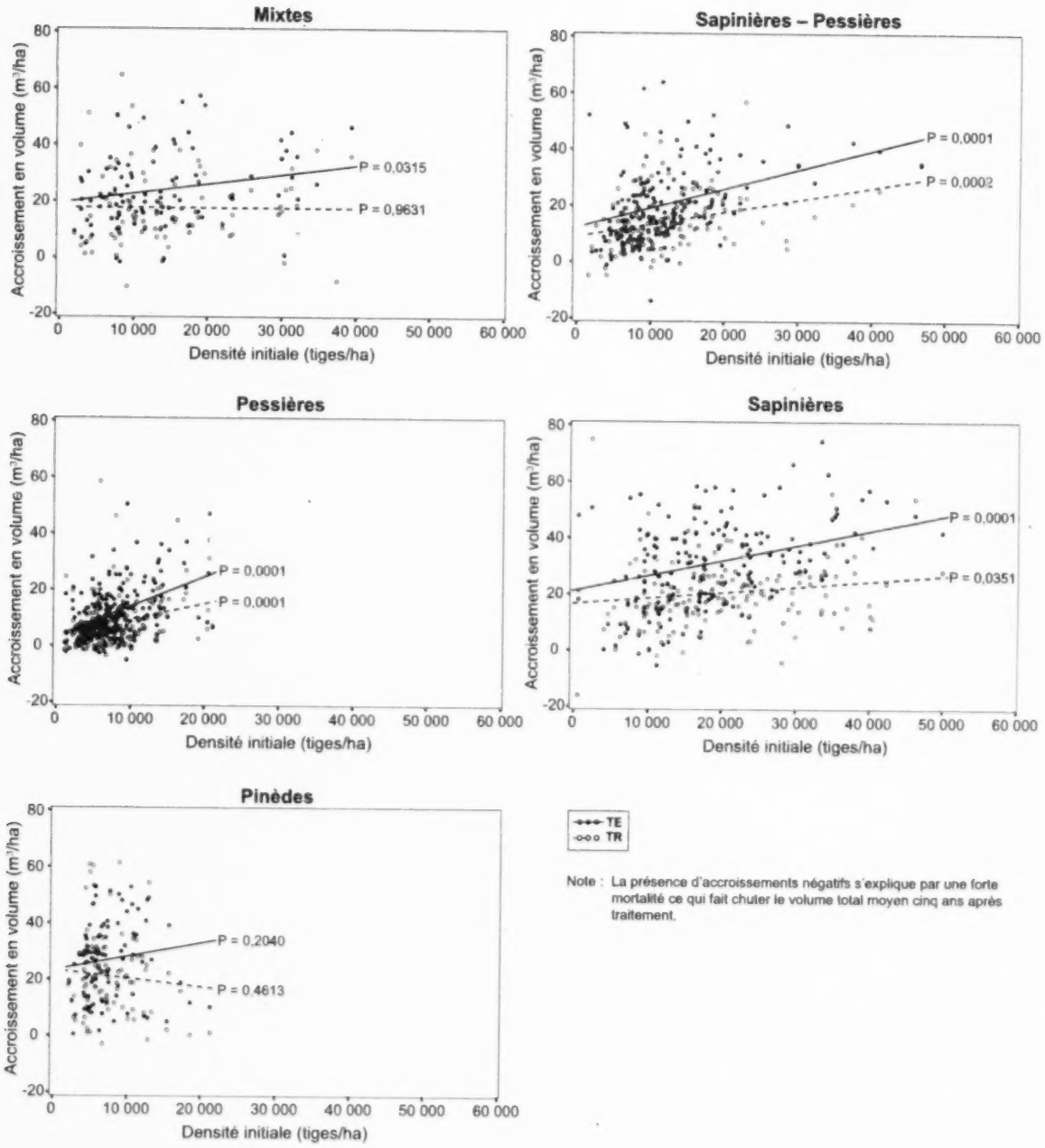


Figure 9. Données et droites ajustées par régression de l'accroissement quinquennal en volume total selon la densité initiale des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE).

Tableau 10. Moyennes ajustées du volume total (m^3) cinq ans après traitement dans les cas de covariables significatives ou d'interactions significatives d'une covariable et des traitements

Quartiles		Mixtes		Pessières		Pinèdes		Sapinières - Pessières		Sapinières	
IQS	Densité	TE	TR	TE	TR	TE	TR	TE	TR	TE	TR
Q_1	Q_1										
	Moy										
	Q_3										
Moy	Q_1	46,09	32,93	21,40	16,05	51,06	39,35	35,64	23,96	56,68	33,52
	Moy	50,77	31,52	29,62	18,66	54,36	37,68	45,75	26,29	66,70	34,88
	Q_3	53,77	30,61	35,09	20,39	56,94	36,39	51,36	27,58	73,77	35,83
Q_3	Q_1										
	Moy										
	Q_3										

Tableau 11. Moyennes ajustées de l'accroissement quinquennal en volume total (m^3) dans les cas de covariables significatives ou d'interactions significatives d'une covariable et des traitements

Quartiles		Mixtes		Pessières		Pinèdes		Sapinières - Pessières		Sapinières	
IQS	Densité	TE	TR	TE	TR	TE	TR	TE	TR	TE	TR
Q_1	Q_1										
	Moy									29,13	19,89
	Q_3										
Moy	Q_1	23,25	19,08	10,05	8,02	27,00	23,41			28,34	20,06
	Moy	25,29	19,04	12,90	9,52	28,30	22,58	21,74	15,59	32,53	21,65
	Q_3	26,67	19,01	14,84	10,53	29,30	21,94			35,46	22,76
Q_3	Q_1										
	Moy									36,06	23,47
	Q_3										

Tableau 12. Analyse de la variance du volume moyen (dm^3) par tige cinq ans après traitement des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare

Sources de variation (fixes)	Mixtes *			Pessières *		Pinèdes *		Sapinières - Pessières *		Sapinières *	
	dl_n	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F
Traitement	1	88	0,2068	200	0,2046	**88**	**0,0342**	**163**	**0,0471**	**167**	**0,0001**

dl_n = degrés de liberté du numérateur.

dl_d = degrés de liberté du dénominateur selon l'approximation de Satterthwaite.

* Transformation de la variable dépendante par racine carrée.

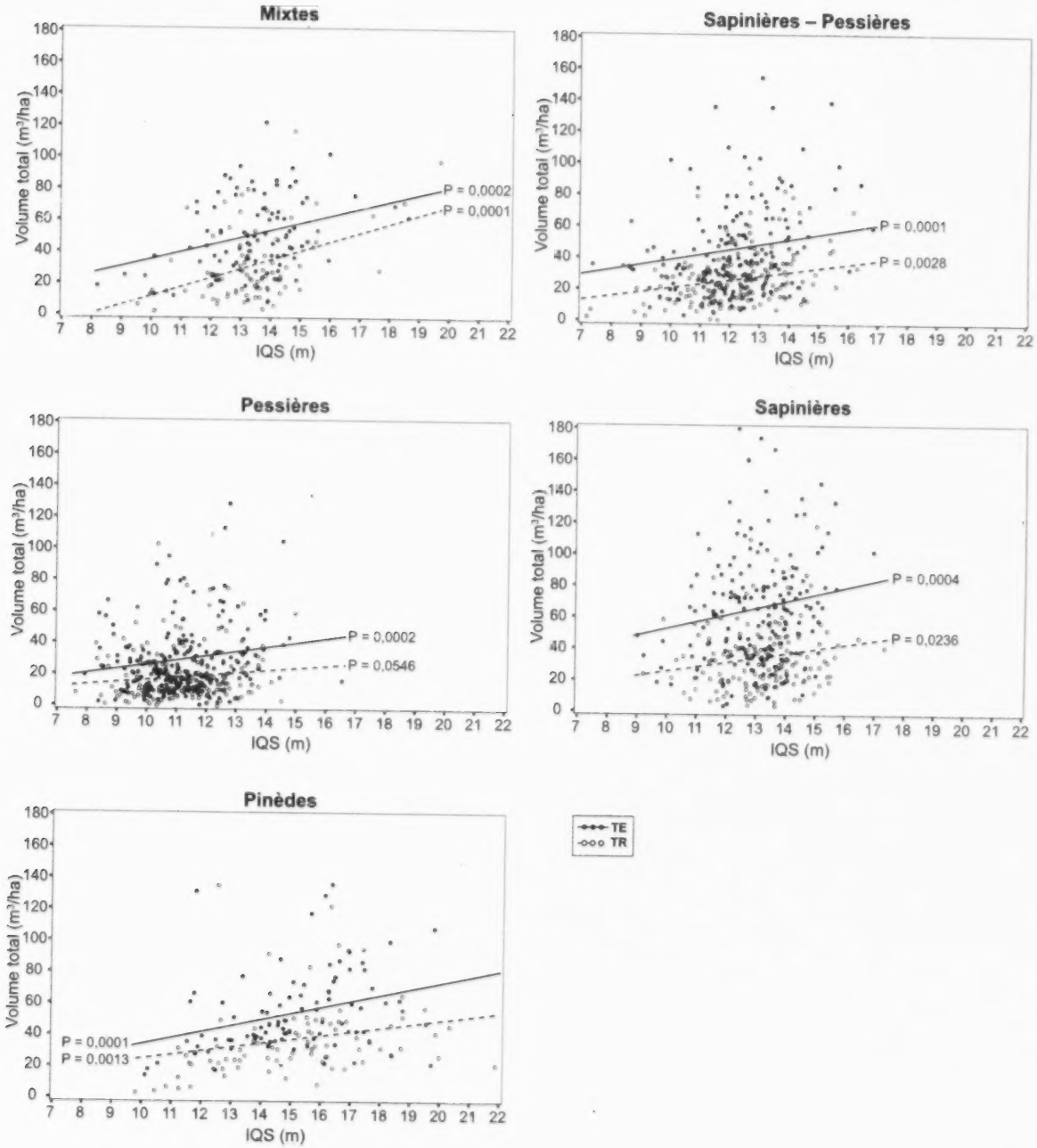
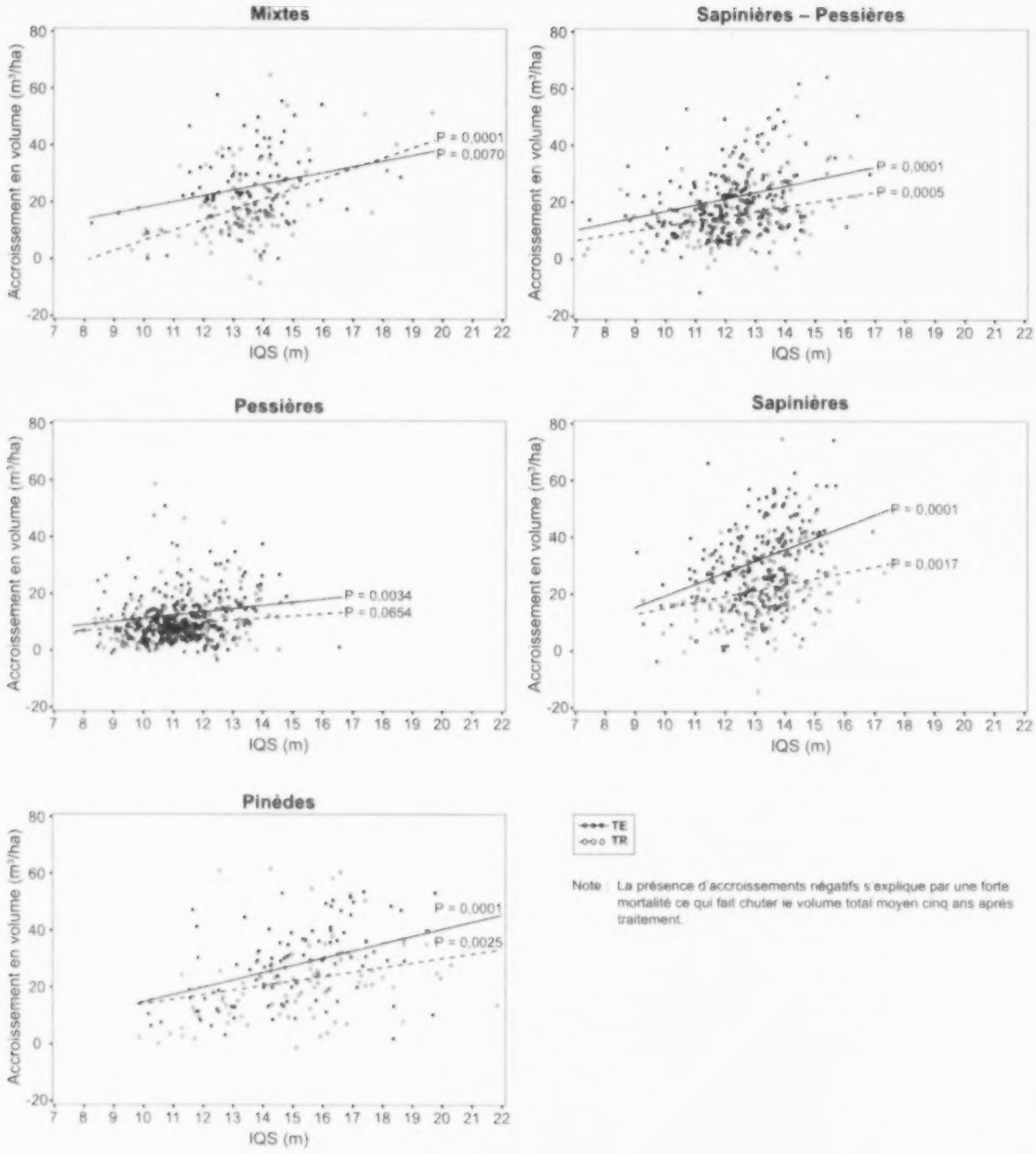


Figure 10. Données et droites ajustées par régression du volume total cinq ans après traitement selon l'indice de qualité de station des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE).



Note : La présence d'accroissements négatifs s'explique par une forte mortalité ce qui fait chuter le volume total moyen cinq ans après traitement.

Figure 11. Données et droites ajustées par régression de l'accroissement quinquennal en volume total selon l'indice de qualité de station des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE).

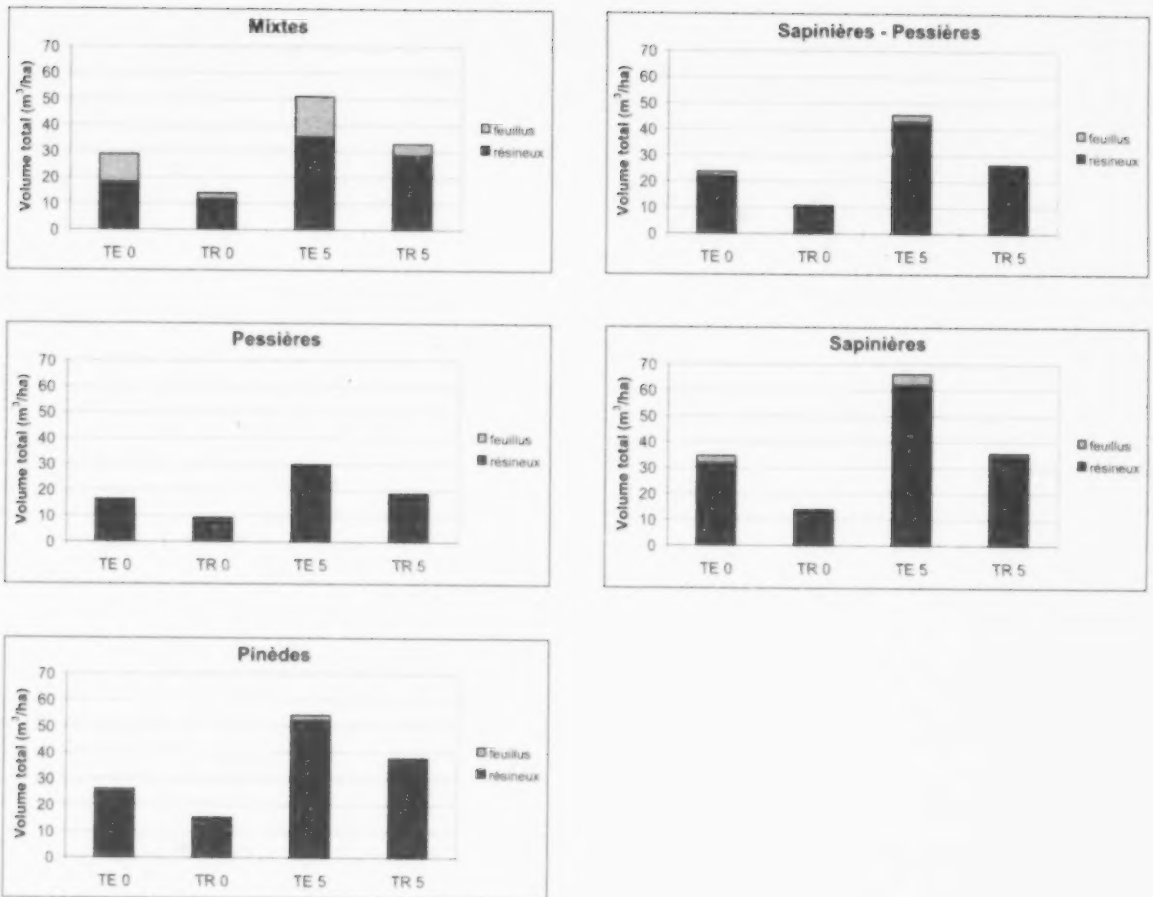


Figure 12. Volume total immédiatement après traitement zéro (0) et cinq (5) ans après traitement des peuplements éclaircis (TR) et témoins (TE).

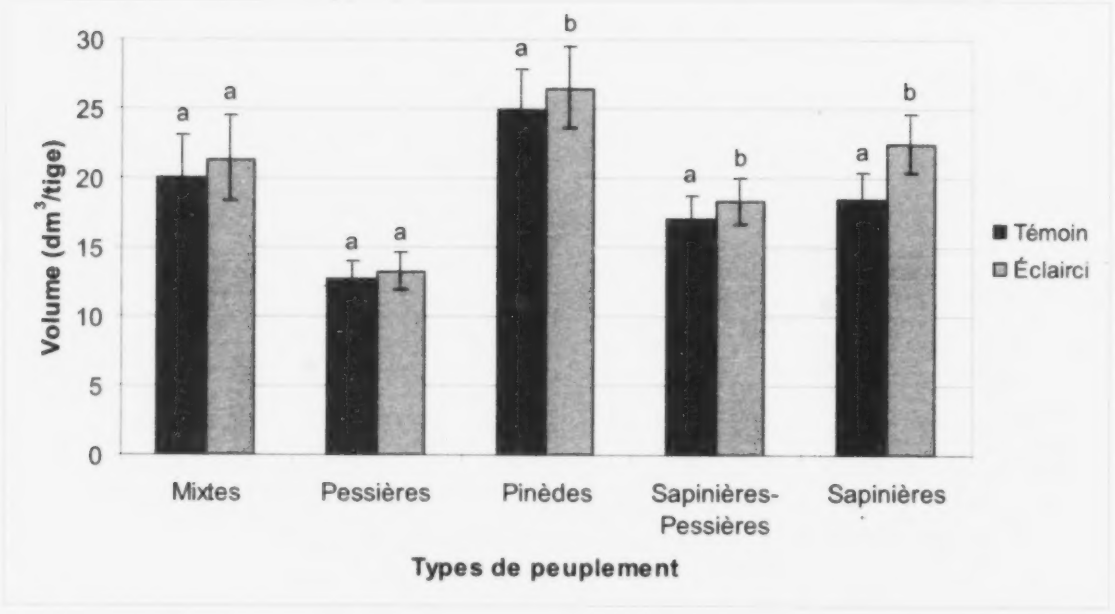


Figure 13. Volume total moyen par tige cinq ans après traitement des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare des peuplements éclaircis et témoins.

Note : Pour un type de peuplement, une lettre identique signifie que les moyennes ne sont pas statistiquement différentes au seuil $\alpha = 0,05$. Les barres au-dessus des bâtonnets représentent les erreurs-types.

Tableau 13. Analyse de la variance de l'accroissement quinquennal en volume moyen (dm^3) par tige des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare

Sources de variation (fixes)	Mixtes *			Pessières *		Pinèdes **		Sapinières - Pessières **		Sapinières **	
	dl_n	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F	dl_d	Pr > F
Traitement	1	**86,2**	**0,0001**	**199**	**0,0001**	**88**	**0,0001**	**163**	**0,0001**	**167**	**0,0001**

dl_n = degrés de liberté du numérateur.

dl_d = degrés de liberté du dénominateur selon l'approximation de Satterthwaite.

* Transformation de la variable dépendante par logarithme.

** Transformation de la variable dépendante par racine carrée.

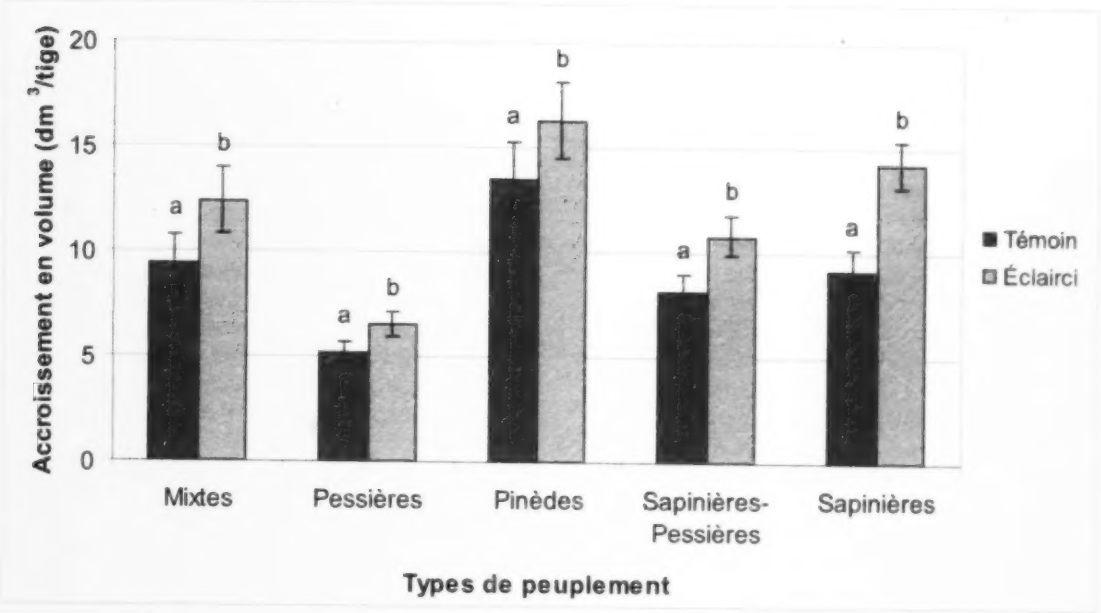


Figure 14. Accroissement quinquennal moyen en volume par tige des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare des peuplements éclaircis et témoins.

Note : Pour un type de peuplement, une lettre identique signifie que les moyennes ne sont pas statistiquement différentes au seuil $\alpha = 0,05$. Les barres au-dessus des bâtonnets représentent les erreurs-types.

Chapitre trois

Discussion

Dans le cadre du programme sur la mesure des effets réels de l'éclaircie précommerciale, un nombre important de placettes ont été installées et mesurées dans divers peuplements destinés à la production prioritaire de résineux. L'échantillonnage effectué dans chacun des types de peuplement permettra éventuellement d'évaluer les effets réels de ce traitement sur les rendements à long terme et de préciser les caractéristiques de peuplements et de stations propices à l'exécution du traitement.

Avant coupe, les peuplements respectaient généralement bien les critères d'âge, de hauteur et de densité admissibles à l'éclaircie précommerciale (MRNF 2008). Le traitement a réduit de façon marquée la densité des peuplements. La densité résiduelle moyenne de chaque type de peuplement respectait, immédiatement après le traitement, le nombre cible de 2 500 tiges/ha (± 25 %) préconisé par le Manuel d'aménagement forestier (MRNFP 2003) et par l'Avis scientifique (MRN 2002). Cependant, elle présente une grande variabilité. L'analyse par paire révèle d'ailleurs que 14 % des placettes traitées, principalement des sapinières, comportaient une densité supérieure à cette norme. Dans ce cas, les effets du traitement devraient s'avérer de plus courte durée, car les arbres seront soumis plus rapidement à une compétition importante. De plus, 32 % des placettes éclaircies avaient une densité résiduelle inférieure à la norme. Ceci peut être expliqué par le fait que les tiges mesurant moins de 1,1 cm au dhp n'ont pas été prises en compte lors de la détermination de la densité. Bien que ces tiges puissent représenter une part non négligeable de la densité des jeunes peuplements, leur effet négatif sur la croissance des autres tiges devrait être mineur compte tenu de leur faible taille.

L'éclaircie a aussi permis d'exercer un contrôle certain sur la composition en essences, notamment en abaissant la proportion en volume des tiges de feuillus. En forêt résineuse, bon nombre d'espèces feuillues ont tendance à envahir rapidement certaines stations à la suite d'une perturbation majeure. De par leur position sociale avantageuse, elles exercent alors une compétition importante pour les ressources réduisant ainsi la production de l'espèce résineuse désirée. Toutefois, il est connu que leur présence est essentielle au maintien de la biodiversité, de la faune et de la fertilité des stations (MRN 2002), même si le présent document ne traite que des effets de l'éclaircie sur la production forestière. Immédiatement après le traitement, 88 % des peuplements résineux affichaient un volume de feuillus inférieur à 5 % comparativement à 62 % pour les peuplements résineux témoins (résultats non présentés). Ce portrait s'est maintenu au cours de la période étudiée, de sorte que cinq ans après traitement, les tiges de feuillus ne constituaient plus qu'une composante mineure des peuplements éclaircis.

L'augmentation du diamètre à la suite d'une éclaircie précommerciale est largement reconnue dans la littérature (Barbour *et al.* 1992, Brissette *et al.* 1999, Burns *et al.* 1996, Zhang *et al.* 2006). Cela est attribuable au fait que la croissance diamétrale occupe une faible priorité dans l'allocation des hydrates de carbone produits par l'arbre (Lanner 1985) et ce faisant, elle est rapidement affectée par la compétition (Jobidon *et al.* 1998, 2003), particulièrement en peuplement fermé. Une ouverture du couvert destinée à redistribuer le potentiel de croissance sur un nombre limité d'arbres permet d'accélérer l'expansion de la cime, d'augmenter la production des hydrates de carbone par la photosynthèse favorisant ainsi une meilleure croissance en diamètre (Smith *et al.* 1997).

Les 1 000 plus grosses tiges à l'hectare ont été retenues pour évaluer l'effet du traitement sur l'accroissement en diamètre. Cet indice reflète généralement bien le nombre d'individus qui ont le plus de chance de survivre et qui, par conséquent, constitueront la part la plus importante du volume du peuplement à maturité (Smith 1986, Pothier 2002). Au cours de la période de cinq ans, l'éclaircie a provoqué une hausse significative de la croissance en diamètre de tous les types de peuplement. Les sapinières ont le plus bénéficié du traitement, elles affichent un accroissement en diamètre de 75 % de plus à la suite de l'éclaircie. Les sapinières-pessières, les peuplements mixtes, les pessières et les pinèdes ont aussi profité du traitement avec des accroissements quinquennaux respectifs de 55, 52, 40 et 27 % supérieurs aux peuplements témoins.

Les normes actuellement en vigueur au Québec n'intègrent pas l'effet de la densité initiale du peuplement sur la capacité de réaction des tiges au traitement. Les résultats de la présente étude démontrent qu'à l'exception des pinèdes, plus les peuplements résineux étaient denses avant traitement, meilleur a été l'accroissement quinquennal en diamètre après éclaircie. Ce constat appuie donc l'hypothèse émise dans l'Avis scientifique (MRN 2002), à l'effet que l'ampleur de la réaction des tiges éclaircies est proportionnelle à la densité des peuplements avant traitement. Les sapinières, qui atteignent une densité avant traitement de près de 52 000 tiges/ha, ont affiché les meilleurs accroissements à la suite de l'éclaircie. À ce niveau élevé de densité, Karsh *et al.* (1994) ont aussi observé que les sapinières éclaircies avaient une forte croissance en diamètre à court terme. Les tiges résiduelles des essences résineuses tolérantes à l'ombre peuvent donc réagir favorablement à l'éclaircie même dans les peuplements pourvus de fortes densités. Par contre, une longue période de compétition en peuplements très denses prolongerait la période d'adaptation aux nouvelles conditions de croissance et même diminuerait la capacité de réaction des arbres (Doucet *et al.* 1996).

Peu d'études se sont attardées à l'effet de la fertilité de la station sur l'accroissement en diamètre à la suite de l'éclaircie précommerciale. Cela s'explique en partie par la difficulté à établir avec précision la qualité de station chez les jeunes peuplements (Lloyd et Hafley 1977). Les résultats obtenus démontrent que l'accroissement en diamètre des placettes éclaircies de l'ensemble des peuplements est supérieur à celui des placettes témoins et que ces accroissements augmentent généralement avec la fertilité de la station. Or, si l'un des objectifs visés est la production de tiges de fort diamètre, l'éclaircie devra donc préférablement être réalisée sur les stations les plus fertiles.

Il est généralement admis que la croissance en hauteur des tiges dominantes n'est pas affectée par la densité du peuplement (Morris *et al.* 1994, Smith *et al.* 1997, Pothier 2002, Fleming *et al.* 2005) sauf lorsque celui-ci est très dense, ce qui dénote ainsi une trop forte compétition (Smith *et al.* 1997). Cette uniformité de la croissance en hauteur, pour une large gamme de densités, est d'ailleurs à la base du calcul de la qualité de station établi selon la relation âge-hauteur des tiges (Tesch 1981). Dans certaines conditions, des études récentes ont démontré que la croissance en hauteur s'est avérée supérieure à la suite de l'éclaircie (Burns *et al.* 1996, Doucet et Boily 1996, Brissette *et al.* 1999, Zhang *et al.* 2006).

Dans la présente étude, l'éclaircie a eu un effet positif sur l'accroissement en hauteur des peuplements de sapin et d'épinette noire (pure ou en mélange), mais dans une moindre mesure que sur celui en diamètre. L'accroissement quinquennal en hauteur des sapinières, des pessières et des sapinières-pessières éclaircies a été supérieur de 21, 18 et 16 % respectivement par rapport aux peuplements témoins. Cette augmentation dans les pessières est comparable à celle de 12 % observée par Doucet et Boily (1996) après une éclaircie précommerciale effectuée selon les normes dans ce même type de peuplement. La faible baisse de 4 % de l'accroissement observée dans les placettes éclaircies des pinèdes par rapport aux placettes témoins pourrait être temporaire. En effet, certains auteurs ont aussi noté un ralentissement de la croissance en hauteur du pin à encens (*Pinus taeda* L.) quelques années suivant l'éclaircie avant qu'une reprise importante ne débute par la suite (Zhang *et al.* 1997, Sword Sayer *et al.* 2004). Les premières années suivant une éclaircie constituent alors une période d'adaptation qui permettrait à l'arbre de se reconstituer une cime vivante qui est d'autant plus frêle lorsqu'elle a préalablement été soumise à une forte compétition intraspécifique. La période d'adaptation des tiges résiduelles dépend à la fois des caractéristiques des espèces et des stations ainsi que de la durée et du niveau de compétition (Harrington et Reukema 1983, Doucet *et al.* 1996). Ces facteurs peuvent donc expliquer en partie les écarts de croissance observés entre les types de peuplement.

Il est reconnu que l'éclaircie peut être bénéfique dans les peuplements très denses, où une diminution, voir même une stagnation de la hauteur des arbres peut être observée (Doucet *et al.* 1996, Smith *et al.* 1997, MRN 2002). Dans la présente étude, les densités initiales n'étaient pas suffisamment élevées pour réduire de façon marquée la croissance en hauteur des arbres étant donné qu'aucune baisse significative n'a été observée avec la hausse de la densité. La hausse de la croissance en hauteur, notée dans les peuplements éclaircis peut alors être attribuable à une augmentation des ressources à la suite de l'ouverture du couvert. Une des causes de cette disponibilité accrue des ressources est le réchauffement du sol, lequel favorise une décomposition plus rapide de la litière et contribue ainsi à augmenter la fertilité de la

station pendant les premières années consécutives à l'éclaircie (Van Cleve *et al.* 1981, Thibodeau *et al.* 2000). Comme la croissance en hauteur occupe déjà une place élevée dans les priorités d'allocation des hydrates de carbone, elle bénéficierait donc rapidement de cet apport supplémentaire en éléments nutritifs.

L'accroissement quinquennal en volume total a été nettement plus élevé dans les placettes témoins de tous les types de peuplement. Cinq ans après traitement, le volume est de 1,4 à 1,9 fois supérieur dans les placettes témoins, comparativement aux traitées, et cet écart est d'autant plus important lorsque la densité initiale est élevée. Les plus faibles volumes et accroissements en volume observés dans les peuplements traités sont attribuables à une réduction importante du nombre de tiges après la coupe. Ces résultats, qui portent sur une très courte période, proviennent de peuplements où les ouvertures créées par l'éclaircie ne sont fort probablement pas encore comblées. La croissance en volume et, par conséquent, le volume du peuplement ont été plus importants sur les stations fertiles. Ce résultat corrobore l'importance d'intervenir sur les stations pourvues d'un bon potentiel de croissance. Le cas échéant, il faudrait donc favoriser les peuplements suffisamment denses et se développant sur les meilleures stations lors de la sélection des peuplements destinés à une sylviculture intensive.

Puisque le nombre de tiges après coupe a été grandement réduit et que la mortalité juvénile devrait être importante, particulièrement dans les placettes témoins, l'analyse du volume par tige et de l'accroissement en volume par tige des 1 000 plus grosses tiges à l'hectare s'avérait plus appropriée pour évaluer l'effet du traitement. Au cours de cette première période quinquennale, l'éclaircie a provoqué une hausse de la croissance en volume des grosses tiges de tous les types de peuplement. Les sapinières ont le plus profité du traitement avec une augmentation de l'accroissement de 53 % à la suite de l'éclaircie. Cet accroissement a été supérieur de 33, 32, 27 et 22 % par rapport aux peuplements témoins dans les pessières, sapinières-pessières, peuplements mixtes et pinèdes éclaircis respectivement. Cela s'est traduit par un volume par tige de 1 à 5 dm^3/ha plus élevé dans les peuplements éclaircis cinq ans après traitement. Bien que ce gain en volume soit minime, en raison principalement de la courte période d'observation, il dénote tout de même une réaction positive et rapide au traitement pour des tiges qui fourniront la plus grande part du volume et de la valeur du peuplement à maturité.

Bien que les grosses tiges éclaircies affichent un meilleur accroissement en volume, il est assez difficile de prédire à quel moment le volume total des peuplements traités et témoins seront similaires. Les peuplements éclaircis devraient subir à plus long terme, une compétition intraspécifique en raison de la fermeture progressive du couvert. L'autoéclaircie induite par la mortalité des tiges surviendra dans les peuplements témoins et favorisera ainsi la croissance des arbres résiduels. Des études menées sur de plus longues périodes indiquent en effet, qu'après avoir culminé, les différences observées entre les taux de croissance des peuplements témoins et traités s'estompent graduellement de sorte que les patrons de croissance tendent à converger dans le temps (Pothier 2002, Newton et Charlebois 2003). Il pourrait alors s'avérer opportun d'exécuter une éclaircie commerciale dans les peuplements traités, laquelle permettrait à la fois de stimuler la croissance des tiges, d'éviter la mortalité et d'ajuster de nouveau la composition en fonction des essences recherchées.

La courte période de mesure après traitement ne permet pas d'identifier les types de peuplement et de station propices à l'application de l'éclaircie précommerciale dans l'optique d'une sylviculture intensive. En effet, la période d'adaptation à la suite de l'ouverture du peuplement n'est probablement pas terminée pour certaines essences ou pour certains peuplements. Cependant, les résultats démontrent que les sapinières, particulièrement de forte densité croissant sur des stations fertiles ont réagi rapidement et ont connu les meilleures réactions à la suite du traitement. De plus, les résultats viennent appuyer l'Avis scientifique à l'effet que l'éclaircie précommerciale permet d'augmenter la production par arbre.

Conclusion

L'éclaircie précommerciale pratiquée dans de jeunes peuplements résineux et mixtes a permis à la fois d'abaisser de façon marquée la densité de tiges et de modifier la composition des espèces, permettant ainsi d'atteindre deux objectifs importants du traitement. En effet, une forte proportion de peuplements résineux n'avaient plus qu'une faible composante en essences feuillues immédiatement après l'éclaircie. Bien que la présence des espèces feuillues soit essentielle au maintien de la biodiversité, de la faune et de la fertilité des stations, les feuillus exercent néanmoins une compétition importante pour les ressources du milieu.

Malgré la courte période suivant l'intervention, le traitement a produit les effets escomptés. Il a provoqué une hausse importante de l'accroissement quinquennal en diamètre et, dans une moindre mesure, de l'accroissement en hauteur des tiges. Parmi les peuplements étudiés, ce sont les sapinières qui ont davantage bénéficié de l'ouverture du peuplement. En général, l'ampleur de la réaction en diamètre des tiges des peuplements éclaircis a été proportionnelle à la fertilité de la station et à la densité du peuplement avant traitement. L'accroissement en volume total des peuplements témoins a été nettement supérieur à celui des peuplements traités. L'importante baisse du nombre de tiges dans les peuplements traités explique les plus faibles volumes totaux observés. Toutefois, en prenant en compte les 1 000 plus grosses tiges à l'hectare, l'accroissement en volume par tige a été supérieur dans les peuplements traités. L'éclaircie a donc engendré un effet positif et rapide sur les tiges qui occupaient les meilleures positions sociales, et qui formeront la majeure partie des peuplements à maturité.

La courte période d'observation et le jeune âge des peuplements ne permettent cependant pas de prédire l'effet du traitement sur la production à moyen ou à long terme. Néanmoins, l'accroissement en volume des tiges des peuplements éclaircis devrait demeurer supérieur à celui des tiges des peuplements non traités jusqu'à ce que le niveau de compétition s'approche de celui des peuplements témoins. Les informations qui seront recueillies au cours des prochains inventaires quinquennaux seront nécessaires afin de quantifier la croissance des peuplements à long terme et par le fait même, de vérifier ou de bonifier les hypothèses de rendement découlant de l'application opérationnelle de l'éclaircie précommerciale.

Références bibliographiques

BARBOUR, R.J., R.E. BAILEY et J.A. COOK, 1992. *Evaluation of relative density, diameter growth, and stem form in a red spruce* (Picea rubens) *stand 15 years after precommercial thinning.* Can. J. For. Res. 22 : 229-238.

BÉGIN, J. et F. RAULIER, 1995. *Comparaison de différentes approches, modèles et tailles d'échantillons pour l'établissement de relations hauteur-diamètre locales.* Can. J. For. Res. 25 : 1303-1312.

BRISSETTE, J.C., R.M. FRANK Jr., T.L. STONE et T.A. SKRATT, 1999. *Precommercial thinning in a northern conifer stand : 18-year results.* For. Chron. 75 : 967-972.

BURNS, J., K.J. PUETTMANN et D. PERALA, 1996. *Strip thinning and spacing increases tree growth of black spruce.* North. J. Appl. For. 13 : 68-72.

DOUCET, R. et J. BOILY, 1996. *Accroissement quinquennal de peuplements d'épinette noire soumis au dépressage.* Ministère des Ressources naturelles. Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 75. 12 p.

DOUCET, R., M. PINEAU, J.-C. RUEL et G. SHEEDY, 1996. *Sylviculture appliquée.* Dans Manuel de foresterie. Presses de l'Université Laval. p. 965-1004.

FLEMING, R.L., D.S. MOSSA et G.T MAREK, 2005. *Upland black spruce stand development 17 years after cleaning and precommercial thinning.* For. Chron. 81 : 31-41.

HARRINGTON, C.A. et D.L. REUKEMA, 1983. *Initial shock and long-term stand development following thinning in a Douglas-fir plantation.* For. Sci. 29 : 33-46.

HONER, T.G., M.F. KER et I.S. ALEMDAG, 1983. *Metric timber tables for the commercial tree species of central and eastern Canada.* Can. For. Serv., Maritimes Forest Research Center. Inf. Rep. M-X-140. 139 p.

JOBIDON, R., L. CHARETTE et P.Y. BERNIER, 1998. *Initial size and competing vegetation effects on water stress and growth of* Picea mariana *(Mill.) BSP seedlings planted in three different environments.* For. Ecol. Manage. 103 : 293-305.

JOBIDON, R., V. ROY et G. CYR, 2003. *Net effect of competing vegetation on selected environmental conditions and performance of four spruce seedlings stock sizes after eight years in Québec (Canada).* Ann. For. Sci. 60 : 691-699.

KARSH, M.B., M.B. LAVIGNE et J.G. DONNELLY, 1994. *Growth responses of the balsam fir and black spruce spacing trials.* Can. For. Serv., Newfoundland and Labrador Region. Inf. Rep. N-X-291. 35 p.

LANNER, R.M., 1985. *On the insensitivity of height growth to spacing.* For. Ecol. Manage. 13 : 143-148.

LLOYD, F.T. et W.L. HAFLEY, 1977. *Precision and the probability of misclassification in site index estimation.* For. Sci. 23 : 493-499.

MAILLY, D. et M. GAUDREAULT, 2005. *Modèles de croissance internodale pour l'épinette noire, le pin gris et le sapin baumier au Québec.* For. Chron. 81 : 114-124.

MILLIKEN, G.A. et D.E. JOHNSON. 2002. *Analysis of messy data.* Volume III : Analysis of covariance. CRC Press, Boca Raton, Florida. 605 p.

MINISTÈRE DES FORÊTS, 1992. *Manuel d'aménagement forestier, 2e édition.* Gouvernement du Québec. 267 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1994. *Une stratégie : aménager pour mieux protéger.* Gouv. du Québec. 197 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1994. *Ressources et industries forestières, Portrait statistique,* Édition 1994. 115 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1997. *Manuel d'aménagement forestier, 3e édition.* Gouvernement du Québec. 112 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 2002. *Le traitement d'éclaircie précommerciale pour le groupe de production prioritaire SEPM.* Comité consultatif scientifique du Manuel d'aménagement forestier. 125 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2003. *Manuel d'aménagement forestier, 4e édition.* Gouvernement du Québec. 245 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2006. *Ressources et industries forestières, Portrait statistique, Édition 2005-2006.* 478 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2008. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 2007-2008.* 125 p.

MORRIS, D.M., C. BOWLING et S.C. HILLS, 1994. *Growth and form responses to pre-commercial thinning regimes in aerially seeded jack pine stands : 5th year results.* For. Chron. 70 : 780-787.

NEWTON, P.F. et M.L. CHARLEBOIS, 2003. *Response of black spruce to pre-commercial thinning : meta-analysis results.* Soumis à For. Ecol. Manage.10 p.

POTHIER, D., 2002. *Twenty-year results of precommercial thinning in a balsam fir stand.* For. Ecol. Manage. 168 : 177-186.

POTHIER, D. et F. SAVARD, 1998. *Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec.* Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles. 183 p.

ROBITAILLE, A. et J.-P. SAUCIER, 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional.* Les publications du Québec. 213 p.

SMITH, D.M. 1986. *The Practice of Silviculture, 8th Edition.* John Wiley & Sons, New-York. 527 p.

SMITH, D.M., B.C. LARSON, M.J. KELTY et P.M.S. ASHTON, 1997. *The Practice of Silviculture: Applied Forest Ecology, 9th Edition.* John Wiley & Sons, New-York. 560 p.

SWORD SAYER, M.A., J.C.G. GOELZ, J.L. CHAMBERS, Z. TANG, T.J. DEAN, J.D. HAYWOOD et D.J. LEDUC, 2004. *Long-term trends in loblolly pine productivity and stand characteristics in response to thinning and fertilization in the West Gulf region.* For. Ecolo. Manage. 192 : 71-96.

TESCH, S.D., 1981. *The evolution of forest yield determination and site classification.* For. Ecol. Manage. 3 : 169-182.

THIBODEAU, L., P. RAYMOND, C. CAMIRÉ et A. MUNSON, 2000. *Impact of precommercial thinning in balsam fir stands on soil nitrogen dynamics, microbial, biomass, decomposition, and foliar nutrition.* Can. J. For. Res. 30 : 229-238.

VAN CLEVE, K., R. BARNEY et R.E SCHLENTNER, 1981. *Evidence of temperature control of production and nutrient in two interior Alaska black spruce ecosystems.* Can. J. For. Res. 11 : 258-273.

ZHANG, S., H.E. BURKHART et R.L. AMATEIS, 1997. *The influence of thinning on tree height and diameter relationships in loblolly pine plantations.* South. J. Appl. For. 21 : 199-205.

ZHANG, S.Y., G. CHAURET, D. EDWIN SWIFT et I. DUCHESNE. 2006. *Effects of precommercial thinning on tree growth and lumber quality in a jack pine stand in New Brunswick, Canada.* Can. J. For. Res. 36 : 945-952.

Les priorités du ministère des Ressources naturelles et de la Faune en matière d'acquisition de connaissances scientifiques ont pour but d'assurer un aménagement forestier durable des forêts pour le bénéfice de la population. Une connaissance approfondie des effets réels des traitements sylvicoles est alors nécessaire afin de s'assurer que les rendements anticipés sont valables. Depuis le début des années 1990, l'éclaircie précommerciale a connu un essor exponentiel dans les forêts résineuses publiques du Québec. Ce traitement a été jugée prioritaire afin d'assurer la production de sapin, d'épinette, de pin gris et de mélèze ou de thuya de l'est. Dans le cadre du programme de la mesure des effets réels, la Direction de la recherche forestière, de concert avec les régions administratives du Ministère, a installé un réseau de placettes-échantillons dans les peuplements résineux et mixtes du domaine public. Ce mémoire dresse un portrait de l'accroissement quinquennal des peuplements à la suite de l'application opérationnelle de l'éclaircie précommerciale.

Ressources naturelles et Faune
Québec

Le papier de ce Mémoire de recherche forestière est fabriqué à 100% avec des fibres recyclées.